



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

**SROVNÁNÍ DOTYKOVÝCH A BEZDOTYKOVÝCH METOD
MĚŘENÍ TEPLoty**

COMPARISON OF CONTACT AND CONTACTLESS TEMPERATURE MEASUREMENT METHODS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Mariana Šváchová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. František Vdoleček, CSc.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Studentka: **Mariana Šváchová**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. František Vdoleček, CSc.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Srovnání dotykových a bezdotykových metod měření teploty

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Teplota je jednou z nejčastěji měřených veličin. V dnešní době se často v praxi vhodně doplňují dotykové a bezdotykové metody jejího měření.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je vypracování studie, řešící možnosti dotykového i bezdotykového měření teploty, jejich výhody, nevýhody a vzájemné srovnání. Teoretické poznatky budou ověřeny na jednoduchém praktickém příkladu.

Seznam doporučené literatury:

CHUDÝ, V., PALENČÁR, R., KUREKOVÁ, E. a HALAJ, M.: Meranie technických veličín. Vydavateľstvo STU, Bratislava, 1999.

JENČÍK, J. a VOLF, J.: Technická měření. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2000.

KREIDL, M.: Měření teploty – Senzory a měřicí obvody. BEN – technická literatura, Praha, 2005

LYSENKO, V.: Detektory pro bezdotykové měření teplot. BEN – technická literatura, Praha, 2005.

SLÁDEK, Z. a VDOLEČEK, F.: Technická měření. Nakladatelství VUT, Brno, 1992.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto práca je zameraná na popis dotykových a bezdotykových metód merania teploty. Prvá časť práce obsahuje teoretický úvod do problematiky a následne detailne popisuje dotykové a bezdotykové teplomery, ich použitie, výhody a nevýhody. Obsahom druhej časti práce je praktický experiment na zvolených príkladoch, ktoré sú následne vyhodnotené.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

teplota, teplomer, termočlánok, termokamera, pyrometer, dotykové teplomery, bezdotykové teplomery

ABSTRACT

This work is focused on the description of contact and contactless temperature measurement methods. The first part of the thesis contains theoretical introduction to the problem and then describes in details contact and contactless thermometers, their use, advantages and disadvantages. The content of the second part of the thesis is practical experiment on selected examples, which are subsequently evaluated.

KEYWORDS

temperature, thermometer, thermocouple, thermocamera, pyrometer, contact thermometers, non-contact thermometers

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

ŠVÁCHOVÁ, Mariana. *Srovnání dotykových a bezdotykových metod měření teploty*. Brno, 2018, 67 s. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedúci práce: Ing. František Vdoleček, CSc.

POĎAKOVANIE

Chcela by som poďakovať vedúcemu práce pánovi Ing. Františkovi Vdolečkovi, CS.c. za odborné vedenie práce, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že som svoju bakalársku prácu vypracovala samostatne pod vedením
Ing. Františka Vdolečka CSc. a s využitím literatúry uvedenej v zozname literatúry.

Brno

.....

podpis autorky

Obsah

1	Úvod	15
2	Meranie teploty	17
2.1	Základné pojmy	17
2.2	Medzinárodná teplotná stupnica ITS-90	18
2.3	Princípy merania teploty	18
2.4	Rozdelenie teplomerov	20
3	Dotykové metódy merania teploty	21
3.1	Elektrické teplomery	21
3.1.1	Odporové teplomery	21
3.1.2	Termoelektrické teplomery	23
3.2	Dilatačné teplomery	24
3.2.1	Kvapalinové teplomery	25
3.2.2	Kovové teplomery	26
3.2.3	Plynové teplomery	27
3.2.4	Tenzné teplomery	28
3.3	Špeciálne indikačné metódy merania teploty	29
3.3.1	Keramické telieska	29
3.3.2	Teplomerné telieska	29
3.3.3	Farebné indikátory	29
3.3.4	Teplomerné nálepky	30
3.4	Zhrnutie	31
4	Bezdotykové metódy merania teploty	33
4.1	Pyrometre	33
4.1.1	Radiačné pyrometre	35
4.1.2	Pásmové pyrometre	36
4.1.3	Pomerové pyrometre	37
4.1.4	Jasové pyrometre	37
4.2	Termovízia	38
4.3	Zhrnutie	39
5	Overenie výsledkov štúdie na zvolenom konkrétnom príklade	41
5.1	Ciele praktického experimentu	41
5.1.1	Špecifikácia merania	41
5.1.2	Spôsob vyhodnotenia	42
5.2	Experimenty a merania	43

5.2.1	Žehlička na vlasy	43
5.2.2	Elektrický varič	43
5.2.3	Kryt lampy	44
5.2.4	Napájacie zdroje	46
5.2.5	Liehový teplomer	48
5.2.6	Kalibrátor	49
5.3	Zhodnotenie meraní	50
6	Záver	53
	Literatúra	55
	Zoznam príloh	59
A	Prehľad najpoužívanějších termočlánkov	61
B	Katalógové listy	63

1 Úvod

Teplota a jej meranie je od nepamäti dôležitou súčasťou ľudského života. Človek teplotu najskôr určoval na základe pocitov a vplyvov teploty na okolité prostredie a materiály. Presné meranie teploty sa stalo veľkou výzvou pre ľudstvo po mnoho tisícročí. Až na prelome 15. a 16. storočia boli vynájdené prvé teplomery, ktoré využívali vodu, poprípade rôzne zmesi. Tieto teplomery avšak trpeli vysokou nepresnosťou. Po týchto pokusoch v roku 1714 holandský vedec Daniel Gabriel Fahrenheit vynašiel spoľahlivý teplomer, kde použil ortuť namiesto zmesi alkoholu a vody. Fahrenheit takisto určil teplotnú stupnicu, ktorá sa dnes stále využíva, ale len v niektorých krajinách. V nasledujúcich dvoch storočiach sa stanovili nové stupnice, ktoré sú dnes využívané – Celsiova a Kelvinova. Prvé bezdotykové metódy merania teploty boli objavené neskôr a to až v 19. storočí.

Postupom času meranie teploty prenikalo do rôznych odvetví a v dnešnej dobe je všade okolo nás. Navyše popri nástupe Priemyslu 4.0 (Industry 4.0) a Internetu vecí (Internet of Things) je presné meranie teploty čoraz dôležitejšou súčasťou inteligentných systémov. Typickým príkladom, kde je možné sa stretnúť s presným meraním teploty, je pri výrobných procesoch, chemických procesoch, inteligentnom riadení budov alebo v moderných automobiloch.

V dnešnej dobe existuje veľké množstvo prístupov k meraniu teploty a správny výber meracej techniky a teplomeru ma veľký vplyv na výsledky merania. Nie vždy je totiž možné použiť dotykové meracie techniky a opačne. Znalosť vlastností teplomerov je dôležitá pre správnu voľbu meracej techniky. Táto práca je v prvej časti zameraná na popis základných pojmov súvisiacich s teplotou a jej meraním, meracích technik a teplomerov. V druhej časti práce sú vlastnosti teplomerov overené na zvolených praktických experimentoch.

Teplota a jej meranie nás sprevádza na každom kroku a jej znalosť je pre človeka neopomenuteľná. Do budúcnosti je možné očakávať ďalší rozmach teplotných senzorov, ktoré prinesú väčšiu presnosť, kompaktnejšie rozmery alebo pohodlnejšiu manipuláciu.

2 Meranie teploty

Obsahom tejto kapitoly je úvod do základných pojmov, ktoré súvisia s teplotou a jej meraním. Ďalej sa táto kapitola zaoberá teplotnými stupnicami a základným prehľadom typov teplomerov podľa využitej metódy merania teploty.

2.1 Základné pojmy

Teplota je jeden z najdôležitejších parametrov pre zaistenie optimálneho technologického procesu najmä v technických oboroch. Je to dôležitá termodynamická stavová veličina, objavujúca sa vo fyzikálnych zákonoch, určujúca stav termodynamickej rovnováhy. Je definovaná na základe účinnosti vratného Carnotovho cyklu, pracujúceho medzi rovnakými kúpeľami určitých teplôt. Táto účinnosť je závislá iba na týchto teplotách. Pre účinnosť Carnotovho cyklu platí nasledujúci vzťah:

$$\eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \quad (2.1)$$

kde η [-] je účinnosť cyklu,

Q_1 [J] je teplo odovzdané teplomernou látkou do kúpeľa s teplotou T_1 ,

Q_2 [J] je teplo odobrané teplomernou látkou z kúpeľa s teplotou T_2 ,

T [K] je termodynamická teplota, pričom platí $T_2 > T_1$.

Ak je Carnotov cyklus ideálny, účinnosť cyklu sa rovná 1, a tým pádom sa môže vzorec upraviť na:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (2.2)$$

Termodynamická teplota, ktorá vyjadruje termodynamickú rovnováhu telesa, má základnú jednotku Kelvin, a je definovaná na základe trojného bodu vody, ktorý vyjadruje rovnovážny stav skupenstiev vody (voda, sýta para a ľad). Termodynamická teplota má pevne stanovenú hodnotu $T = 273,16K$. Na základe tejto teploty Lord Kelvin definoval termodynamickú stupnicu. Energetické stavy pri termodynamickej stupnici sú definované základnou stavovou rovnicou pre ideálny plyn:

$$p \cdot V = R \cdot T \quad (2.3)$$

kde p [Pa] je tlak,

V [m^3] je objem,

R [$N.m.K^{-1}$] je univerzálna plynová konštanta,

T [K] je termodynamická teplota.

V bežnej praxi sa však používajú ako jednotky stupne Celzia. Celziova teplotná stupnica bola odvodená z Kelvinovej stupnice. Princípom je posunutie o hodnotu 273,15. Jednotkou je stupeň Celzia ($^{\circ}\text{C}$), a platí:

$$t = T - T_0 = T - 273,15\text{K} \quad (2.4)$$

Jeden stupeň Celzia má rovnakú hodnotu ako jeden stupeň Kelvina ($1\text{K} = 1^{\circ}\text{C}$). Pre rozdiel teplôt platí $\Delta t = \Delta T$.

Fahrenheitova teplotná stupnica sa u nás moc nepoužíva, pretože nepatrí do SI sústavy, avšak je možné sa s ňou stretnúť v niektorých anglosaských krajinách. Pre túto stupnicu platí, že ľad sa topí pri teplote 32°F a voda sa varí pri 212°F . Prevod medzi Celziovou stupnicou a Fahrenheitovou je daný vzťahom:

$$F = \frac{9 \cdot C}{5} + 32 \quad (2.5)$$

kde F [$^{\circ}\text{F}$] je teplota v stupňoch Farenheita,

C [$^{\circ}\text{C}$] je teplota v stupňoch Celzia.

Táto kapitola je spracovaná na základe [1, 2, 3, 4].

2.2 Medzinárodná teplotná stupnica ITS-90

V roku 1927 bola ustanovená Medzinárodná praktická teplotná stupnica. Postupne však bola táto stupnica upravovaná a doplňovaná. Posledný krát bola zmenená v roku 1990 a bola označená ako The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90). Táto stupnica má pevne určených 17 teplotných bodov, ktoré odpovedajú rovnovážnym stavom medzi fázami látok. Tieto definičné body sú uvedené v tabuľke 2.1. [2]

2.3 Princípy merania teploty

Princípy merania teploty sa typicky delia na dve základné kategórie – dotykové a bezdotykové metódy merania teploty. Nasledujúci popis je vypracovaný na základe [5, 6].

Pri dotykovom meraní teploty sa senzor musí dotknúť objektu, ktorého teplotu treba zmerať, aby došlo k priamemu prenosu tepla medzi týmito objektami. Táto metóda sa dá použiť na miestach, kde je ľahký prístup k meranému objektu a tento objekt a jeho okolité prostredie nereaguje chemicky so senzorom. V praxi sa najčastejšie používajú odporové teplomery a termočlánky.

Tab. 2.1: Definičné pevné body ITS-90[2]

Číslo	$T_{90}(^{\circ}\text{C})$	$t_{90}(^{\circ}\text{C})$	Látka	Stav
1	3 až 5	-270,15 až -268,15	He	nasýtená para
2	13,8033	-259,3467	e-He2	trojný bod
3	17,0	-256,15	e-He2 alebo He	nasýtená para alebo plyn
4	20,3	-252,85	e-He2 alebo He	nasýtená para alebo plyn
6	54,3584	-218,7916	O2	trojný bod
7	83,8058	-189,3442	Ar	trojný bod
8	234,3156	-38,8344	Hg	trojný bod
9	273,16	0,01	H2O	trojný bod
10	302,9146	29,7646	Ga	bod topenia
11	429,7485	156,5985	In	bod tuhnutia
12	505,078	231,928	Sn	bod tuhnutia
13	692,677	419,527	Zn	bod tuhnutia
14	933,473	660,323	Al	bod tuhnutia
15	1234,93	961,78	Ag	bod tuhnutia
17	1357,77	1084,62	Cu	bod tuhnutia

Bezdotykové meranie umožňuje, aby sa senzor nachádzal v určitej vzdialenosti od objektu, ktorého teplotu je potrebné zmerať. Tým pádom sa objekt so senzorom nemôžu vzájomne ovplyvňovať. Pri tejto metóde sa využíva princípu pyrometrie, čo znamená, že každý objekt, ktorý má nejakú určitú teplotu, vyžaruje určitú vlnovú dĺžku infračerveného žiarenia. Najčastejšie sa používajú termovízne kamery a infračervené teplomery.

Teplotné senzory sú založené na týchto fyzikálnych princípoch:

- Teplotná rozťažnosť
- Zmena elektrických vlastností
- Celková energia žiarenia
- Spektrálne žiarenie

2.4 Rozdelenie teplomerov

Teplota sa meria prostredníctvom rozličných typov senzorov. Všetky tieto senzory odvodzujú teplotu meraním zmien fyzikálnych charakteristík. Šiestimi najbežnejšími typmi, vyskytujúcimi sa v praxi, sú tieto [6]:

- termočlánky
- odporové snímače a termistory
- infračervené meranie
- bimetalické meranie
- meranie založené na princípe rozpínania kvapaliny
- meranie na základe stavových zmien meraného materiálu

Prehľad rozdelenia technických teplomerov spolu s fyzikálnym princípom a teplotným rozsahom je uvedený v tabuľke 2.2.

Tab. 2.2: Prehľad technických teplomerov [7]

Metóda merania	Skupina teplomerov	Typ teplomerov	Fyzikálny princíp	Teplotný rozsah [°C]
Dotykové teplomery	Dilatačné teplomery	Kvapalinové	zmena objemu	−5 +500
		Kovové	dĺžková rozťažnosť	−40 +400
		Plynové	zmena tlaku	−200 +750
		Tenzné	zmena tenzií pár	0 +900
	Elektrické teplomery	Termoelektrické	termoelektrický jav	−200 +1700
		Odporové kovové	zmena elektrického odporu	−250 +1000
		Odporové polovodičové	zmena prahového napätia	−200 +400
	Špeciálne teplomery	Teplomerné telieska	bod topenia	+100 +1300
		Teplomerné farby	zmena farby	+20 +1000
Bezdotykové teplomery	Pyrometry	Kvapalné kryštály	zmena orientácie	0 +300
		Širokopásmové	zachytenie všetkého teplotného žiarenia	−40 +5000
		Monochromatické	zachytenie úzkeho zväzku žiarenia	+100 +3000
		Pomerové	porovnanie dvoch zväzkov teplotného žiarenia s rôznymi vlnovými dĺžkami	+700 +2000
	Termovízia	Termokamery	snímanie teplotného obrazu telesa	−30 +1200

3 Dotykové metódy merania teploty

V tejto kapitole je pozornosť venovaná dotykovým teplomerom. Pri dotykovom meraní sa teplomer priamo dotýka meraného objektu, čo vyžaduje aby pripevnenie teplomeru na tento objekt bolo také, aby bol zaručený dobrý styk s objektom, a aby teplomer priamo neovplyvňoval teplotu objektu. Táto kapitola vychádza z kategórií, ktoré sú uvedené v tabuľke 2.2.

3.1 Elektrické teplomery

Elektrické teplomery (popis podľa [2]) využívajú k meraniu teploty elektrické veličiny závislé na teplote. Najčastejšie sa využíva teplotná zmena odporu a termoelektrický jav. Elektrické teplomery sú kvôli svojmu elektrickému výstupu najrozšírenejšie pri automatizácii technologických procesov. Pri týchto procesoch našli najväčšie uplatnenie vďaka svojim malým rozmerom, presnosti, cene a množstvom konštrukčných vyhotovení. Delia sa na:

- odporové teplomery
 - kovové odporové teplomery
 - polovodičové odporové teplomery
- termoelektrické teplomery

3.1.1 Odporové teplomery

Odporovými teplomermi sa meria zmena elektrického odporu vodičov alebo polovodičov v závislosti na teplote. Podľa zvoleného materiálu teplomeru vieme určiť jeho rozsah a presnosť.

Kovové odporové teplomery

Kovové odporové teplomery sú založené na zmene elektrického odporu kovov v závislosti na teplote. Najčastejšie sa využíva teplomer vyrobený z platiny, ktorý má teplotný rozsah od 100 °C do 440 °C a meria s presnosťou na tisíciny stupňa. Ďalej sa v technickej praxi používa aj meď a nikel. Oproti platine však majú oveľa menší teplotný rozsah. Využíva sa toho, že elektrický odpor sa so vzrastajúcou teplotou zväčšuje, a to charakterizuje teplotný súčiniteľ elektrického odporu α_R . Odpor elektrických vodičov s narastajúcou teplotou stúpa a teplotný súčiniteľ elektrického odporu má kladnú hodnotu.

Jeho veľkosť sa dá zistiť zo vzorca (platí len pre teploty od 0 °C do 100 °C) :

$$\alpha = \frac{1}{R_0} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta t} \quad (3.1)$$

kde $\alpha [K^{-1}]$ je teplotný súčiniteľ elektrického odporu ,

$\Delta R [\Omega]$ je rozdiel odporov vodiča pri 100 °C a 0 °C,

$R_0 [\Omega]$ je odpor vodiča pri 0 °C,

$\Delta t [^{\circ}C]$ je teplotná zmena rovná 100 °C.

Najväčší teplotný súčiniteľ odporu má železo a nikel, a najmenší má platina. V nikli pri teplotách 300 °C až 400 °C vznikajú zmeny štruktúry, ktoré ovplyvňujú teplotnú zmenu odporu. Preto sa používa na meranie nižších teplôt. Najviac sa využíva platina, pretože má vysokú teplotu tavenia. Platinové meracie odpory sa dajú podľa konštrukčného prevedenia rozdeliť na keramické, sklenené a pertinaxové teplomery. Líšia sa od seba nosným materiálom, na ktorom je špirálovito navinutý drôt s priemerom 0,05 mm. Keramické teplomery sa dajú použiť pre meranie teploty až do 850 °C a používajú sa hlavne ako snímače teploty do jímiek. Sklenené teplomery sa dajú použiť na meranie celého rozsahu, avšak kvôli mechanickému namáhaniu, ktoré vzniká rozdielnou teplotnou rozťažnosťou platinového drôtu a sklenenej podložky, spôsobujúceho prídavnú zmenu odporu sa to nerobí a používa sa pre meranie teplôt do 600 °C. Pertinaxovými teplomermi sa merajú predovšetkým povrchové teploty a teploty prostredia, ktoré majú do 150 °C. [1, 8, 9]

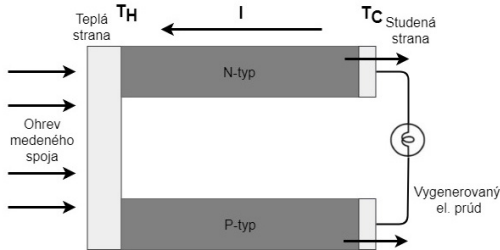
Polovodičové odporové teplomery

Polovodičové odporové teplomery taktiež používajú závislosť elektrického odporu na zmene teploty. Dajú sa rozdeliť na polykryštalické a monokryštalické odporové teplomery. Medzi polykryštalické patria termistory, ktoré sa ďalej delia na negistory a posistory. Monokryštalickými teplomermi rozumieme diódové teplomery, čo sú snímače bez PN prechodu a s PN prechodom.

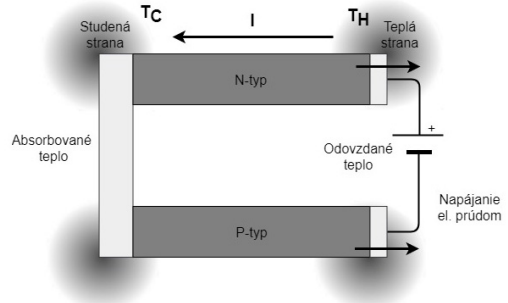
Termistory sú polovodičové odporové snímače teploty, ktoré sú vyrábané práškovou metalurgiou z práškových materiálov, akými sú napríklad TiO_2 , NiO , Fe_2O_3 , MnO , CuO a ďalšie. Veľkou výhodou termistorov je, že majú 5 až 50-krát väčší teplotný koeficient odporu oproti kovovým odporom. Dajú sa z nich zhotoviť čidlá s veľkým odporom, avšak z minimálnymi rozmermi. Podľa toho, či je α_R záporná alebo kladná, sa delia na negistory a posistory. Obidva typy majú nelineárnu závislosť na teplote. [7]

3.1.2 Termoelektrické teplomery

Termoelektrické teplomery, ktoré sa nazývajú aj termočlánky, využívajú pri meraní teploty termoelektrické javy. Pre meranie teploty je možné použiť napríklad Seebeckov, Peltierov alebo Thomsonov jav.



Obr. 3.1: Seebeckov jav [10]



Obr. 3.2: Peltierov jav [10]

Seebeckov jav bol prvým objaveným termoelektrickým javom. Jeho podstatou je ohrievanie spoja dvoch elektrických vodičov. Keď sa tento spoj zahreje, elektróny sa z materiálu, v ktorom majú nižšiu energiu, presunú do materiálu, kde majú energiu vyššiu. Toto spôsobí vznik elektromagnetického napätia. Seebeckov jav je teda premena rozdielov teploty priamo na elektrické napätie. Ak sú v obvode dva vodiče, ktoré sú vyrobené z rozdielnych materiálov, navzájom spojené na oboch koncoch, tak rozdiel teplôt na oboch koncoch spôsobí vznik elektromotorického napätia, ktoré je možné merať a na jeho základe určiť teplotu. Schéma Seebeckovho javu je na obrázku 3.1.

Peltierov jav (na obrázku 3.2) je opačný ako Seebeckov a nastáva pri prechode elektrického prúdu obvodom s dvoma vodičmi, ktoré sú vyrobené z rôznych materiálov, čo spôsobí, že jedna zo styčných plôch sa zahrieva a druhá ochladzuje. Keď elektrický prúd prejde cez termoelektrickú dvojicu, spoj dvoch kovov začne meniť svoju teplotu podľa smeru prúdu, ktorý cez obvod preteká.

Thomsonov jav spočíva v pozorovaní, že pri prechode elektrického prúdu cez vodič s nerovnomerne rozloženou teplotou vzniká teplo, ktoré sa dá spočítať z rovnice [11]:

$$Q = R \cdot I^2 - \mu \cdot I \cdot \frac{\Delta T}{\Delta l} \quad (3.2)$$

kde Q [W] je teplo,

R [Ω] je elektrický odpor,

I [A] je elektrický prúd,

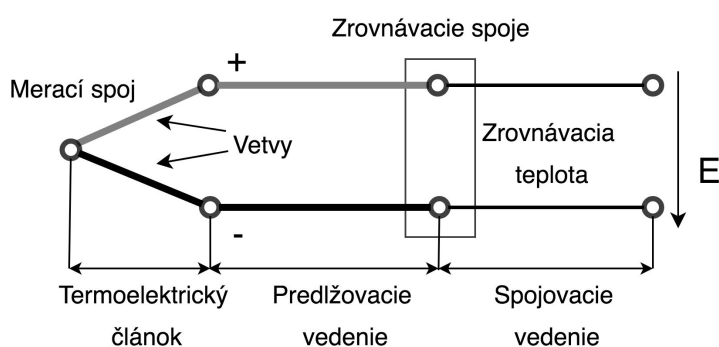
μ [$\Omega \cdot m \cdot K^{-1}$] je Thomsonov koeficient,

ΔT [K] je zmena teploty,

Δl [m] je dĺžka vodiča.

Základným konštrukčným prvkom termočlánkov sú tzv. termoelektrické dvojice, ktoré sú vytvorené polovodičovým PN prechodom. Ak je na PN prechod privedené teplo, v polovodičoch sa rozdelia nosiče náboja. V polovodiči typu N sa pohybujú elektróny a v polovodiči typu P sa pohybujú kladné diery. Tieto náboje sa potom koncentrujú pri studenejších koncoch polovodičov, medzi ktorými vzniká rozdiel potenciálov. Ak sa obvod zavrie, dochádza k prechodu elektrického prúdu a k voľnému pohybu elektrónov cez prechod. [12]

Schéma termočlánku je na obrázku 3.3 a príklad termočlánkovej sondy na obrázku 3.4.



Obr. 3.3: Schéma termoelektrického článku [3]



Obr. 3.4: Termočlánková sonda [13]

3.2 Dilatačné teplomery

Dilatačné teplomery (popis podľa [14]) sú založené na rozťažnosti kvapalných, plyných alebo tuhých látok s meniacou sa teplotou. Pri zmene teploty látok nastáva zmena ich vlastností, ako je objem alebo rozmer, ktorý vyvolá silový účinok alebo posuv. Tieto charakteristiky sú následne spracované za účelom určenia teploty. Dilatačné teplomery je možné rozdeliť na nasledovné kategórie:

- kvapalinové teplomery
 - sklenené teplomery
 - tlakové teplomery
 - parné teplomery
- kovové teplomery
 - tyčové teplomery
 - bimetalové teplomery
- plynové teplomery
- tenzné teplomery

3.2.1 Kvapalinové teplomery

Kvapalinové teplomery sú založené na základe objemovej rozťažnosti kvapalín. Výpočet teploty je získaný zo vzťahu:

$$V = V_0(1 + \alpha_{vs}\Delta t) \quad (3.3)$$

kde $V [m^3]$ je výsledná hodnota objemu,

$V_0 [m^3]$ je počiatočný objem,

$\alpha_{vs} [K^{-1}]$ je súčiniteľ objemovej teplotnej rozťažnosti,

$\Delta T [^{\circ}C]$ je zmena teploty.

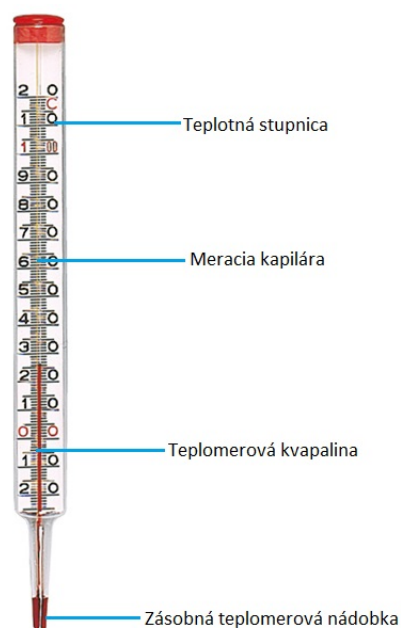
Do teplomerov sa najčastejšie používa ako teplomerná kvapalina ortuť alebo lieh. Tieto kvapaliny s dajú použiť v rozsahu ich teplôt tuhnutia a varu. Pre ortuť je to $-35^{\circ}C$ až $350^{\circ}C$ a pre lieh $-100^{\circ}C$ až $80^{\circ}C$. [1]

Sklenené teplomery

Sklenené teplomery sú najrozšírenejšími kvapalinovými teplomermi a zároveň aj najstaršie. Použitie našli najmä v zdravotníctve, pri rôznych výskumoch, v priemysle a metrológií. Sú jednoduché, lacné, presné a spoľahlivé. Tieto teplomery sú vhodné pre použitie pri teplotách $-200^{\circ}C$ až $500^{\circ}C$. Najčastejšie sa používala ako teplomerná kvapalina čistá a suchá ortuť, ktorá však bola v roku 2009 zakázaná, keďže je toxická. Náhradou sa stal galinstan, čo je zmes gália, india a cínu. Sklenené teplomery (na obrázku 3.5) sa skladajú z dvoch častí: teplomerovej nádoby a meracej kapiláry. Nádoba na teplomery je naplnená teplomerovou kontrastnou kvapalinou, a pri zmene teploty sa táto kvapalina rozširuje do kapiláry. Na stupnici pod kapilárou sa dá potom odčítat výsledná hodnota teploty. [8, 15]

Tlakové teplomery

Kvapalinové tlakové teplomery sú založené na objemovej rozťažnosti kvapalín. Teplomerová nádoba aj kapilára sú naplnené teplomerovou kvapalinou, ktorou býva väčšinou ortuť alebo metylalkohol. Táto kvapalina je pevne uzavretá, a pri zmene teploty sa vplyvom rozťažnosti objem kvapaliny zmení. Pri tomto druhu teplomerov sa meranie objemovej rozťažnosti mení na meranie tlaku. [4, 8]



Obr. 3.5: Sklenený teplomer [16]

Parné teplomery

Tieto teplomery využívajú zmenu tlaku. Ich teplomerová nádobka je naplnená teplomerovou kvapalinou iba do polovice. Teplomerovou kvapalinou sú látky, ktoré sa ľahko odparujú, a tým pádom ich sýta para zaplňuje druhú polovicu nádobky a kapiláru. Touto náplňou býva benzén, lieh, propán, bután, acetón alebo metylchlorid. Keďže sa používajú sýte pary, a tým pádom nie je teplomer citlivý na polohu, nie je potrebná ani korekcia teploty okolitého prostredia. [3]

3.2.2 Kovové teplomery

Kovové teplomery [8] sú teplomery, v ktorých sa využívajú pevné látky. Meranie teploty je založené na rozdielnej dĺžkovej teplotnej rozťažnosti dvoch pevných látok. Vypočítajú sa podľa rovnice:

$$l = l_0(1 + \alpha_{ls} \cdot \Delta t) \quad (3.4)$$

kde l [m] je výsledná hodnota dĺžky,

l_0 [m] je počiatočná dĺžka,

α_{vs} [K^{-1}] je súčiniteľ dĺžkovej teplotnej rozťažnosti,

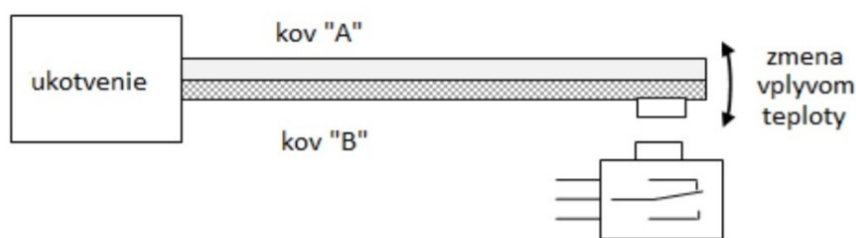
Δt [$^{\circ}C$] je zmena teploty.

Tyčové teplomery

Tyčové teplomery sú tvorené z vetknutej trubice z jednej strany, ktorá je vyrobená väčšinou z medi a jej zliatin, ktoré majú dostatočnú dĺžkovú rozťažnosť. Vo vnútri trubice sa nachádza tyč vyrobená z materiálu, ktorý má malú teplotnú rozťažnosť. Pri zmene teploty trubica mení svoju dĺžku, dôsledkom čoho je deformácia. Táto deformácia je prevedená na teplotu. [1, 8]

Bimetalové teplomery

Bimetalové (dvojkovové) teplomery sú tvorené pásikom, ktorý je vytvorený z dvoch vrstiev kovov, ktoré majú rozdielne súčinitele dĺžkovej rozťažnosti, a sú spojené pevným spojom. Nákres takéhoto teplomeru sa nachádza na nasledujúcom obrázku 3.6. Pri zmene teploty tieto vrstvy menia rôzne svoju dĺžku, a tým pádom dochádza k ohnutiu bimetalu, následkom čoho vznikne deformácia. Táto deformácia sa potom mechanicky prenáša na ukazovateľ. [1, 8]



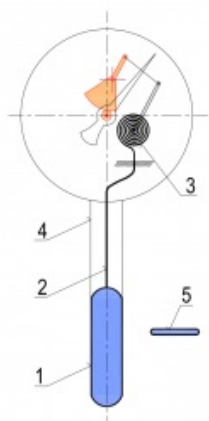
Obr. 3.6: Bimetalový teplomer

3.2.3 Plynové teplomery

Plynové teplomery sú veľmi podobné tlakovým teplomerom. Ako náplň používajú tieto teplomery inertný plyn, ktorým môže byť dusík, neón alebo hélium. Pracujú na základe stavovej rovnice 2.3, kde využívajú konštantný objem. Z tejto rovnice sa dá dostať priama spojitosť medzi teplotou a tlakom. Najväčšou výhodou plynových teplomerov je použitie pri teplotách, ktoré sa blížia k absolútnej nule. Majú tak tiež dobrú presnosť. Ukážka tlakového teplomeru sa nachádza na obrázku 3.7 a na obrázku 3.8 je detailnejší popis jeho súčastí. [3]



Obr. 3.7: Plynový teplomer [17]



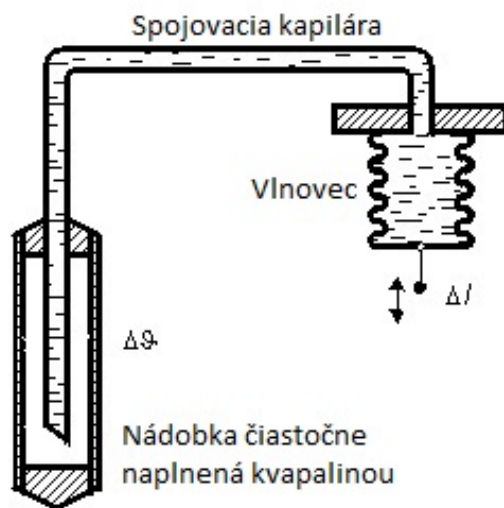
- 1-Plynové teliesko
- 2-Kapilára
- 3-Tlakomerný deformačný člen
- 4-Stonka
- 5-Prierez trubice, z ktorej je zhotovený deformačný člen

Obr. 3.8: Schéma plynového teplomeru [17]

3.2.4 Tenzné teplomery

Tenzné teplomery používajú závislosť medzi teplotou a rovnovážnym tlakom v sústave z jednou zložkou a dvoch fázach: kvapalina a para. Konštrukciou sa tieto teplomery podobajú na plynové. Skladajú sa z nádržky, do ktorej je až po dno zavedená kapilára, ktorá túto nádrž spojuje s deformačným tlakomerom. Spojovacia kapilára a deformačný člen sú úplne naplnené kvapalinou, nádržka len čiastočne. Keď teplota dosiahne maximálnu hodnotu, všetka kvapalina sa odparí.

Schéma tenzného teplomeru sa nachádza na obrázku 3.9. [3]



Obr. 3.9: Tenzný teplomer [7]

3.3 Špeciálne indikačné metódy merania teploty

Medzi orientačné metódy merania radíme zvláštne teplomery, ktoré využívajú špeciálne princípy merania teploty. Sú to rôzne indikačné teplomery, ktoré orientačne určujú teplotu. Môžu to byť rôzne keramické telieska, teplomerné telieska, farby, ceruzky a laky. Taktiež sem patria aj nálepky z tekutých kryštálov. [1, 2]

3.3.1 Keramické telieska

Keramické telieska sú malé trojboké zrezané ihlany, ktoré sa vyrábajú najčastejšie zo zlúčenín kyslíku SiO_2 , Al_2O_3 s prímiesou iných zlúčenín kyslíku, napríklad MgO , PbO , CaO . Používajú sa pri kontrole teploty v taviacich peciach. Sú vyrobené tak, aby sa pri zvyšujúcej sa teplote deformovali tak, že vrchol ihlanu sa dotkne podložky v momente, kedy teliesko dosiahne svoju teplotu tavenia. Pri meraní teploty v peci sa do nej vložia väčšinou štyri telieska, z ktorých jedno má teplotu tavenia takú, ako v peci požadujeme, dve majú teplotu nižšiu a slúžia na signalizáciu blížiacej sa požadovanej teploty a jedno, ktoré slúži na kontrolu prepálenia. Tieto telieska majú také zloženie, aby boli presné, ale to nie je možné určiť presne, pretože deformácia kryštálov môže byť ovplyvnená aj inými faktormi. Teplotný rozsah keramických teliesok je od 600 °C do 1980 °C. [18]

3.3.2 Teplomerné telieska

Teplomerné telieska pracujú na veľmi podobnom princípe ako keramické, rozdielom medzi nimi je to, že teplomerné telieska sa používajú v teplotnom rozsahu od 100 °C do 1600 °C. Ich tvar je valcový, niekedy aj hranatý, a pri tavení v peci, kedy jej teplota dosiahne teplotu mäknutia teliesok sa tieto telieska úplne roztavia. Vyrábajú sa z rôznych zliatin kovov. [2]

3.3.3 Farebné indikátory

K farebným indikátorom sa dajú zaradiť rôzne teplomerné farby, ceruzky, laky (zobrazený na obrázku 3.10), tabletky alebo kriedy. Tieto indikátory sa môžu vyskytovať v tekutom, tuhom alebo práškovom stave. Niektoré z nich sú jednorázové, čo znamená že po ukázaní teploty nie je možné zmeniť farbu na pôvodnú, a niektoré sú viacnásobné a dajú sa použiť opakovane. Merajú teplotu tak, že pred ohrevom sa potrie povrch meraného objektu a zahrievaním dochádza ku zmene farby indikátoru, až pokiaľ sa nedosiahne potrebná teplota. Ich rozsah merania teploty je od 50 °C až po 1600 °C. [2]



Obr. 3.10: Teplomerný lak [19]

3.3.4 Teplomerné nálepky

Teplomerné nálepky sú často využívané pre rýchle a jasné meranie povrchovej teploty objektov, často napríklad tepelných výmenníkov, ložísk a prevodových skríň, a pod. Tieto nálepky sa typicky delia na nevratné a vratné. Nevratné nálepky sa dajú použiť iba raz, po zahriatí a následnej zmene farby sa už nálepka nevráti do pôvodného stavu. Vratné sa dajú použiť opakovane, pretože sú znovupoužiteľné. [1, 2]

Príklad teplomerných nálepok je zobrazený na nasledujúcich obrázkoch 3.11 a 3.12.



Obr. 3.11: Teplomerná nálepka nevratná[20]



Obr. 3.12: Teplomerné nálepky vratné [21]

3.4 Zhrnutie

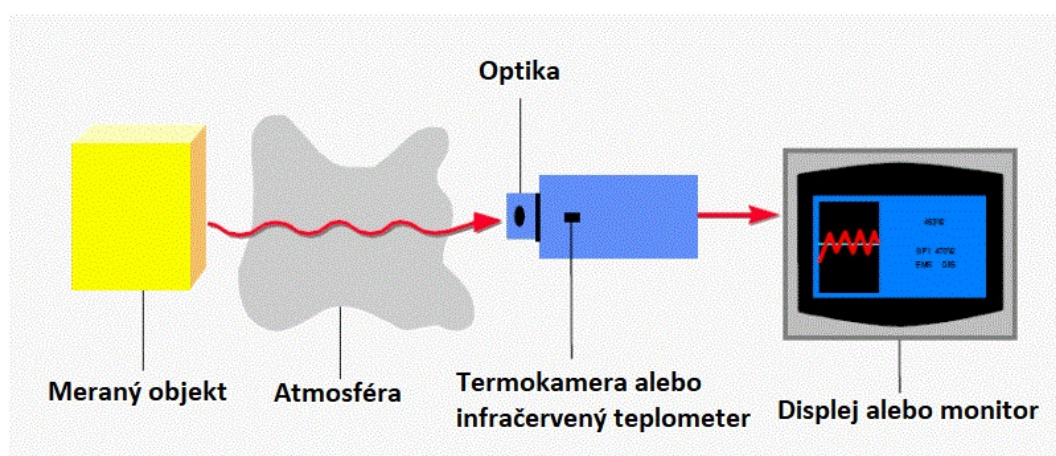
V dnešnej dobe sa rozvíja predovšetkým bezdotykové meranie teploty, najmä vďaka svojmu širokému využitiu. Avšak napriek tomu sa teplota ešte stále veľmi často meria dotykovými teplomermi. Klasické ortuťové teplomery sa používajú v lekárstve, ostatné majú široké využitie v domácnosti, v poľnohospodárstve alebo v rôznych odvetviach priemyslu. Tieto teplomery majú nižšie ceny ako bezdotykové a jednoduchšie sa ovládajú. Výhodou je aj to, že väčšinou má okolité rušenie malý vplyv na meranie, sú jednoduchšie na výrobu, sú menej náročné a dá sa nimi merať aj teplota vo vnútri telesa. Nevýhodou je u niektorých typov teplomerov pomerne malý rozsah meraných teplôt, nedá sa nimi merať pohybujúce sa alebo rotujúce teleso, náhle zmeny teplôt a teplota sa dá merať iba v konkrétnom mieste. Chyby merania pri dotykových teplomeroch bývajú zväčša spôsobené zlým kontaktom a tým pádom i prenosom tepla medzi teplomerom a meraným objektom alebo ovplyvnení meraného objektu teplomerom. Pri malých telesách môže kontaktný teplomer naopak veľmi ovplyvniť výsledok merania tým, že meranému objektu odoberie výrazné množstvo tepelnej energie.

4 Bezdotykové metódy merania teploty

Bezdotykové metódy merania teploty vyhodnocujú infračervené tepelné žiarenie v rozmedzí od $0,8\mu\text{m}$ do $30\mu\text{m}$. Tieto hodnoty predstavujú rozsah teplôt od -40°C až do $10\,000^\circ\text{C}$. Princíp bezdotykového merania teploty je ukázaný na obrázku 4.1. Infračervené žiarenie je elektromagnetické žiarenie s vlnovou dĺžkou väčšou ako viditeľné spektrum, a tým pádom má rovnaké vlastnosti ako svetelné žiarenie, ale nie je viditeľné ľudským okom. Šíri sa priamočiario, láme sa, odráža, polarizuje a interferuje. Výhody bezdotykových metód merania teploty sa dajú zhrnúť do týchto bodov:

- veľmi malý vplyv meracieho prvku na meraný objekt, ktorý sa dá zanedbať
- možnosť merať teplotu v prostredí, ktoré koroduje
- umožnenie merať teplotu telesa, ktoré sa pohybuje
- možnosť merať rýchle zmeny teploty
- plošné snímanie teploty objektu (termovízia)
- možnosť snímať povrchovú teplotu plameňa, skla, kovov a pod.

Nevýhodou môže byť vyššia cena a neistoty merania spôsobené neznalosťou emisivity alebo nastavením nesprávnej hodnoty. [22]



Obr. 4.1: Princíp bezkontaktného merania teploty [5]

4.1 Pyrometre

Pyrometre sú bezkontaktné meracie snímače, ktoré snímajú tepelné žiarenie vyžarujúce z meraného telesa. Ak je teleso zahriate nad teplotu, ktorá je vyššia ako teplota okolia, tak vyžaruje elektromagnetické vlnenie, ktoré má určitú vlnovú dĺžku. Energia, ktorú teleso vyžaruje na určitej vlnovej dĺžke, závisí od fyzikálnych vlastností povrchu telesa a teploty telesa. Z tejto energie sa dá následne určiť jeho teplota. Pyrometre používajú na meranie teploty rovnaký princíp ako termokamery, avšak

pyrometre dokážu snímať iba jeden optický bod, ktorého veľkosť je určená vlastnosťami pyrometra. Pyrometre sa dajú použiť v širokom rozsahu teplôt. Ich hlavnými nevýhodami je, že pre určenie správnej teploty musíme poznať emisivitu objektu, ktorý meriame a namerané hodnoty nemusia byť správne, lebo mohli byť ovplyvnené fyzikálnymi vlastnosťami optickej cesty medzi pyrometrom a meraným telesom. Tepelné žiarenie má vlnovú dĺžku medzi 10^{-8} a 10^{-3} m. Čím má teleso väčšiu teplotu, tým kratšiu má vlnovú dĺžku. Po teplote $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyžaruje teleso dlhé, infračervené lúče, ktoré nie sú ľudským okom viditeľné. Nad teplotu $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ začne teleso vyžarovať červené lúče, pri $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ sú lúče žlté, pri $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ sú zelené a nad $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ už sú lúče modré. Pri dosiahnutí vysokej teploty $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$ začne teleso vyžarovať krátke lúče, ktoré sú ultrafialové.

Množstvo energie vyžiarenej telesom je popísané Stefan-Boltzmanovým zákonom, ktorý platí pre čierne telesá:

$$E_0 = \sigma \cdot T^4 \quad (4.1)$$

kde E_0 [J] je energia vyžiarená čiernym telesom,

σ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$] je Stefan-Boltzmanova konštanta,

T [K] je teplota žiariaceho povrchu.

Reálne telesá nie sú čierne, iba sa im vlastnosťami blížia. Vyžarujú menšiu energiu oproti čiernemu telesu. Pre šedé telesá tak platí modifikácia Stefan-Boltzmanovho zákona :

$$E = \epsilon \cdot E_0 = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (4.2)$$

kde E [J] je skutočná energia vyžiarená šedým telesom,

ϵ [-] je emisivita,

E_0 [J] je energia vyžiarená čiernym telesom,

σ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$] je Stefan-Boltzmanova konštanta,

T [K] je teplota žiariaceho povrchu.

Základ pyrometrov je tvorený snímačom infračerveného žiarenia. Tieto snímače sa dajú rozdeliť na tepelné a kvantové. Teplota tepelných snímačov sa zvyšuje vplyvom dopadajúceho žiarenia. Tieto snímače používajú termistory na vyhodnocovanie. Kvantové snímače používajú fotoelektrický jav polovodičov na vyhodnotenie žiarenia a senzormi sú fotoelektrické články. Tieto snímače majú rôzne citlivosti na vlnové dĺžky žiarenia.

Pyrometre sa podľa druhu použitého snímača delia na:

- **radiačné** (úhrnné) - základ tvoria tepelne snímače, využívajú celé spektrálne pásmo
- **fotoelektrické** (pásmové)
- **spektrálne** (jasové) - pracujú s kvantovými snímačmi rôznych typov, využívajú žiarenie úzkej časti spektra alebo jednej vlnovej dĺžky
- **distribučné** (farbové) - pracujú s kvantovými snímačmi rôznych typov, vyhodnocujú zmenu farby meraného telesa s teplotou

Pyrometre podľa oblasti spektra, v ktorom merajú sa delia na :

- **ultrafialové**
- **optické**
- **infračervené**
- **rádiové**

Pyrometre podľa rozsahu spektra ,ktoré využívajú pri meraní delíme na:

- **monochromatické**
- **úhrnné**
- **pásmové**

Pyrometre podľa spôsobu použitia :

- **ručné pyrometre**
- **stacionárne pyrometre**

Táto kapitola bola spracovaná z [2, 22, 23, 24, 25, 26].

4.1.1 Radiačné pyrometre

Radiačné pyrometre sa tiež nazývajú aj úhrnné alebo celkové, keďže merajú širokú oblasť vyžarovania tepelného žiarenia. Ich výhodou je jednoduchosť a nízka cena. Na druhej strane, nevýhodou je zložitá korekcia údajov nameraná týmito pyrometrami, preto sa používajú na meranie povrchov s emisivitou približujúcou sa k 1. K určeniu teploty pri radiačných teplomeroch sa používa Stefan-Boltzmannov zákon:

$$M_0 = \sigma T^4 = \sigma \varepsilon T_S^4 \Rightarrow T_S = T_P \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon}} \quad (4.3)$$

kde M_0 [$W \cdot m^{-2}$] je hustota intenzity žiarenia,

σ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$] je Stefan-Boltzmannova konštanta,

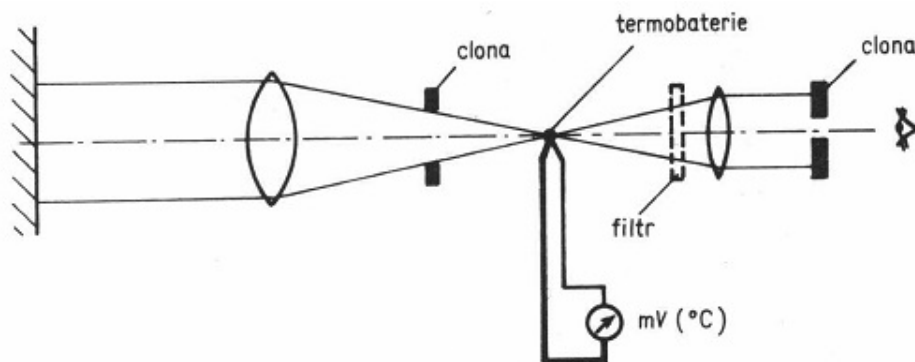
ε [-] je emisivita materiálu,

T [K] je teplota,

T_S [K] je skutočná teplota,

T_P [K] je teplota, ktorú uviedol pyrometer.

Princíp merania spočíva v tom, že sa teplotné žiarenie zhromažďuje optickým systémom na tepelnom detektore. Pri týchto pyrometroch sa používajú ako detektory termočlánky, bolometre, termoelektrické a pyroelektrické detektory. Schéma radiačného pyrometra sa nachádza na obrázku 4.2. Podľa druhu použitého detektora môže byť rozsah pyrometrov od -40 do $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na spracovania signálu sa používajú elektronické obvody, ktoré sú riadené mikroprocesorom. [27]



Obr. 4.2: Radiačný pyrometer [28]

4.1.2 Pásmové pyrometre

Pásmové pyrometre reagujú len na určitom pásme vlnových dĺžok. Toto pásmo udávajú najčastejšie fotočlánky, fotodiódy a fotoodpory. Skutočnú teplotu nameranú týmto pyrometrom sa dá získať zo vzťahu:

$$\frac{1}{T_S} = \frac{1}{T_P} + \frac{\lambda_p}{c_2} \cdot \ln(\varepsilon_p) \quad (4.4)$$

kde λ_p [m] je vlnová dĺžka pásma,

ε_p [-] je pásmová emisivita meraného objektu,

c_2 [m.K] je druhá vyžarovacia konštanta,

T [K] je teplota,

T_S [K] je skutočná teplota,

T_P [K] je teplota, ktorú uviedol pyrometer.

Výhodou týchto pyrometrov je rýchla reakcia na zmenu teploty a možnosť merať teplotu malých predmetov. Najčastejšie sa využívajú na meranie teploty v takom prostredí, ktoré má absorpčné vlastnosti voči infračervenému žiareniu. [27]

4.1.3 Pomerové pyrometre

Pomerové pyrometre sa inak nazývajú aj dvojfarebné. Tieto pyrometre vyhodnocujú povrchovú teplotu na základe vyžarovaných energií objektom na dvoch vlnových dĺžkach. Tieto hodnoty sa následne dajú do pomeru. Týmto spôsobom sa dajú vylúčiť chyby merania, ktoré sú spôsobené absorpciou žiarenia a zmenami emisivity. Vhodné použitie týchto pyrometrov je na teploty, ktoré sú vyššie ako 200 °C. Meranie spočíva v tom, že žiarenie telesa prejde cez optický systém a sústredí sa na polopriepustný film, cez ktorý prejde len žiarenie na dvoch vlnových dĺžkach. Najčastejšie sú to vlnové dĺžky o hodnote $\lambda = 0,65\mu\text{m}$ a $\lambda = 0,55\mu\text{m}$. Tieto vlnové dĺžky odpovedajú červenej a zelenej farbe. Takto filter rozdelí žiarenie a to potom dopadá na detektor žiarenia. Vzniknú tak dva elektrické výstupné signály, ktorým pomerom získame teplotu. [29]

4.1.4 Jasové pyrometre

Jasové pyrometre využívajú meranie množstva tepelnej energie, ktorá je vyžiarená na jednej vlnovej dĺžke, alebo v úzkom pásme dĺžok. Tieto pyrometre porovnávajú intenzitu prijatého žiarenia s intenzitou žiarenia pomocného porovnávacieho zdroja. Jas tohto porovnávacieho zdroja sa mení tak, aby zmizlo rozhranie medzi meraným objektom a týmto zdrojom. Aby bolo meranie len na jednej vlnovej dĺžke, nachádza sa v prístroji na tento účel monochromatický filter. Tento pyrometer sa používa najčastejšie na meranie roztavených a žeravých materiálov, ako napríklad železo, sklo a keramika. Keďže je pyrometer nastavený pre meranie teploty vyžiarenej čiernym telesom, tak pre skutočnú teplotu platí vzťah:

$$\frac{1}{T_S} = \frac{1}{T_P} + \frac{\lambda}{c_2} \cdot \ln(\varepsilon) \quad (4.5)$$

kde T_S [°C] je skutočná teplota ,

λ [m] je vlnová dĺžka filtru,

ε [-] je emisivita meraného objektu,

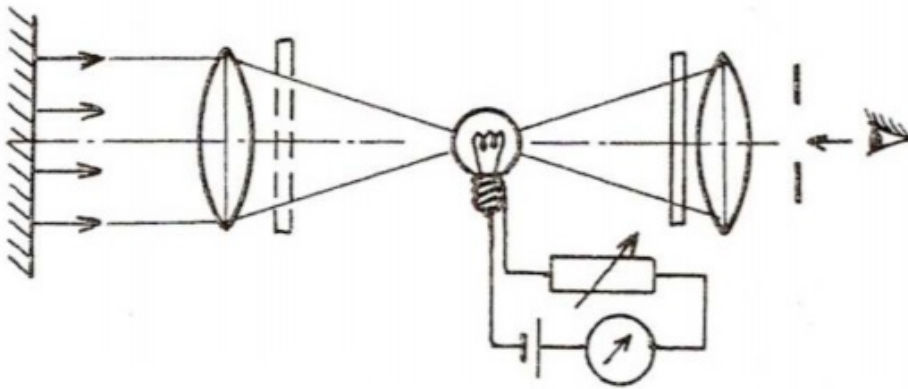
c_2 [m.K] je druhá vyžarovacia konštanta,

T_S [K] je skutočná teplota,

T_P [K] je teplota, ktorú uviedol pyrometer.

Teplota sa pomocou jasového pyrometra meria tak, že sa jeho okulár nasmeruje na meraný objekt. Potom sa na jednej vlnovej dĺžke, ktorá je najčastejšie $\lambda = 0,65\mu\text{m}$ porovnáva jas meraného objektu s jasom porovnávacieho zdroja. [2, 29]

Schéma takéhoto pyrometra je uvedená na obrázku 4.3.

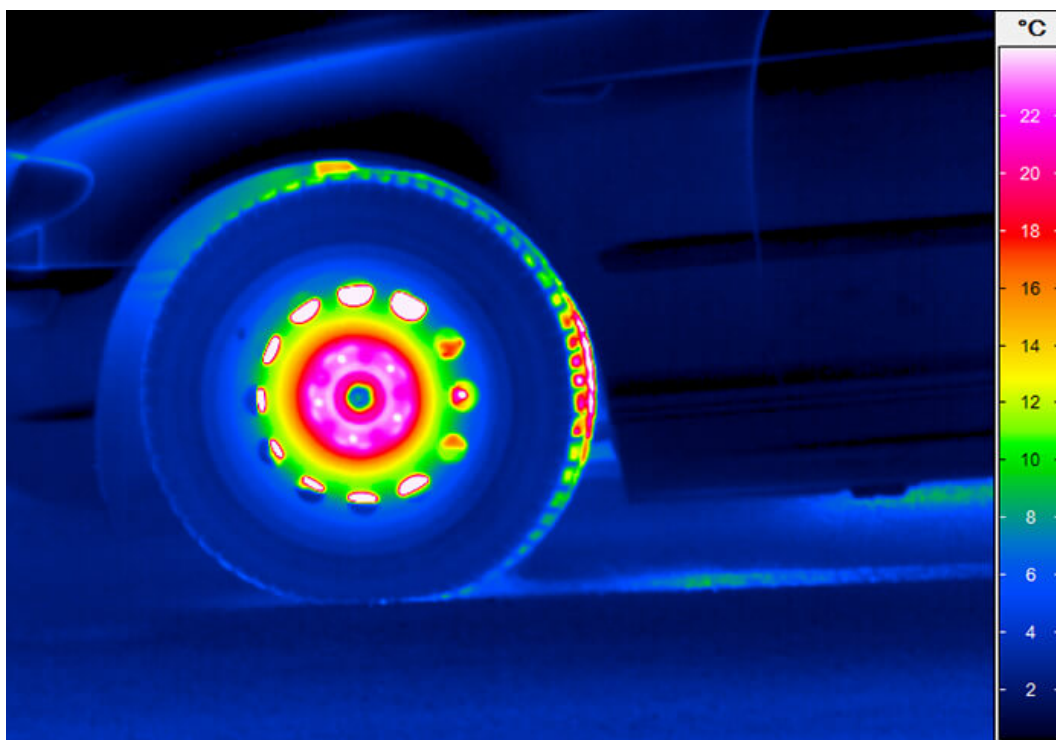


Obr. 4.3: Jasový pyrometer

4.2 Termovízia

Termovízia [1] pracuje v infračerveného oblasti spektra. Dajú sa podľa nej zobrazit' najmä zmeny teplotného poľa na povrchu meraného objektu. Teplotné pole objektu sa sníma špeciálnou kamerou, ktorá má detektor infračerveného žiarenia. Toto teplotné pole sa následne zobrazí na inej obrazovke, kde je zobrazené ako termogram, ktorý má rôzne farebné odtiene, alebo je v odtieňoch šedej. Príklad zachyteného termogramu je zobrazený na obrázku 4.4.

Funguje na princípe merania vyžarovaných zväzkov lúčov objektom, ktoré dopadajú na duté zrkadlo, a to ich odráža na kmitajúce rovinné zrkadlo. Lúče, ktoré sa odrazia potom prechádzajú cez osemboký hranol, ktorý sa točí okolo osy. Tým, že zrkadlo kmitá, sa obraz zvislo rozkladá a rotácia hranolu umožňuje vodorovný rozklad. Frekvencia týchto pohybov sa jednotlivo volí tak, aby mala kamera dobrú rozlišovaciu schopnosť. Lúč, ktorý prejde cez hranol dopadne cez clonu umiestnenú na vrchole dutého zrkadla na optickú sústavu s šošovkou, ktorá usmerňuje lúč na detektor, ktorý je chladený tekutým dusíkom. Z tohto detektora sa signál odosiela na obrazovku. Existuje ešte aj iný typ termovízie, pri ktorom sa používa pyroelektrický detektor, v ktorom vzniká pri dopade infračerveného žiarenia elektrický náboj. Takýto druh termovízie nepotrebuje chladenie tekutým dusíkom, pretože pracuje pri normálnej teplote, a nemusí sa ani rozkladať obraz, pretože sa videné teplotné pole priamo zobrazuje na obrazovke.



Obr. 4.4: Termogram pneumatiky auta vo vysokej rýchlosti [30]

4.3 Zhrnutie

Keďže sa bezdotykové teplomery nemusia meraného objektu dotýkať, využívajú sa pri meraní pohybujúcich sa alebo rotačných objektoch. Svoje uplatnenie nájdu aj v medicíne, ako diagnostické prístroje, napríklad na nádory, ale aj v strojníctve na monitorovanie rôznych zariadení, ktoré sa zahrievajú, ako napríklad motory alebo obrobky. Vhodné sú aj na meranie teploty rôznych povrchov objektov, tepelných strát budov a v energetike na rôzne transformátory, rozvodné skrine alebo únik tepla, či chladu. Výhodou bezkontaktného merania teploty je veľmi rýchle meranie a meranie rýchlych teplotných zmien, možnosť merania teplotného poľa na celom objekte, možnosť merania teploty objektu, ktorý je ťažko dostupný, na nebezpečnom mieste alebo je vo veľkej vzdialenosti. Taktiež tieto teplomery neovplyvňujú meraný objekt, nedochádza k žiadnemu prestupu tepla a tým pádom ovplyvnenia výsledku. Dajú sa použiť aj na meranie veľmi vysokých teplôt.

Najväčšou nevýhodou u týchto teplomerov je chyba spôsobená neistotou stanovenia emisivity meraného objektu. Ďalšími nevýhodami je potrebná dobrá viditeľnosť objektu, dajú sa merať iba povrchové teploty a okolité prostredie môže ovplyvňovať meranie žiarením alebo inými vplyvmi. Taktiež je takéto meranie náročné na prípravu a teplomery majú pomerne vysokú cenu.

Tieto teplomery sa tiež s výhodou používajú v oblasti technickej diagnostiky, kedy termografia predstavuje veľmi progresívny a spoľahlivý odbor v sledovaní prevádzkového stavu a spoľahlivosti akýchkoľvek strojov. Najnovšie trendy sa dajú sledovať napríklad v energetike, kde termokamery umiestnené na dronoch sledujú stav rozsiahlych rozvodných sietí, ktoré boli kedysi pre diagnostiku len ťažko dostupné.

5 Overenie výsledkov štúdie na zvolenom konkrétnom príklade

5.1 Ciele praktického experimentu

Pri experimentálnom overení poznatkov získaných zo štúdie o dotykových a bezdotykových metódach merania teploty bolo uvažované o vhodných predmetoch alebo prístrojoch z každodenného života, ktoré sa pri používaní zahrievajú. Cieľom je overiť na týchto objektoch vlastnosti teplomerov, vhodnosť použitia na predmety z reálneho života, ich výhody, nevýhody a presnosť. Pre experimentálne meranie teploty boli použité dotykové a bezdotykové teplomery nachádzajúce sa v laboratóriu.

5.1.1 Špecifikácia merania

Zvolenými príkladmi z každodenného života bola žehlička na vlasy a elektrický varič. Bude meraná teplota žehličky na vlasy, pri ktorej je očakávaná teplota 200 °C podľa údajov od výrobcu. Táto teplota by mala byť riadená termostatom, kde je predpoklad, že nameraná hodnota sa bude blížiť očakávanej. Ďalším meraným objektom bude elektrický varič, pri ktorom sa taktiež predpokladá, že jeho teplota bude riadená termostatom, avšak presnú hodnotu alebo očakávanú teplotu sa nedá určiť, nakoľko neboli dostupné informácie od výrobcu.

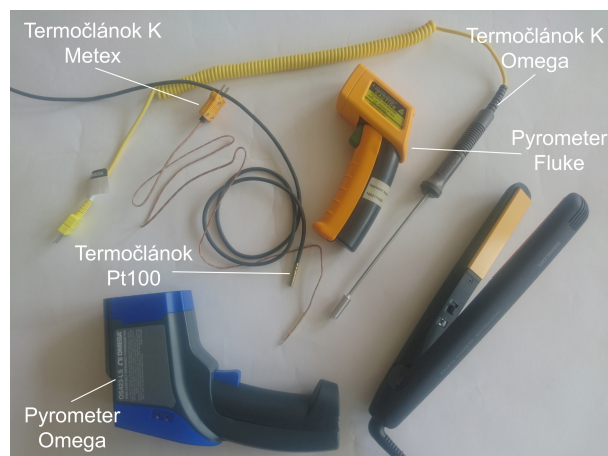
Merania teploty budú realizované pomocou teplomerov dostupných v laboratóriu (zobrazené na obrázku 5.1 a 5.2).

Boli použité dotykové teplomery:

- Termočlánok K z príslušenstva Metex 3890D (ďalej označovaný ako Termočlánok K Metex)
- Termočlánok K ako prídavná kontaktná sonda typu PHT-K-6 k pyrometru Omega OS423-LS (ďalej označovaný ako Termočlánok K Omega)
- Termočlánok Pt 100 v prevedení TG4 Sensit Rožnov pod Radhoštěm meraný prostredníctvom Metex 3890D a prepočtom odporu na teplotu podľa tabuliek Sensit (ďalej označovaný ako Termočlánok Pt100)

Použité bezdotykové teplomery:

- Pyrometer Fluke 62
- Pyrometer Omega OS423-LS
- Termokamera Fluke Ti9



Obr. 5.1: Použité snímače teploty a žehlička na vlasy



Obr. 5.2: Použitá termokamera [31]

5.1.2 Spôsob vyhodnotenia

Všetky merania budú vyhodnotené pomocou tabuliek s nameranými hodnotami a pomocou slovného zhodnotenia a porovnania s očakávanými výsledkami merania. Vyhodnotenie bude pre každý predmet zvlášť, a na záver bude uvedené celkové zhodnotenie experimentu.

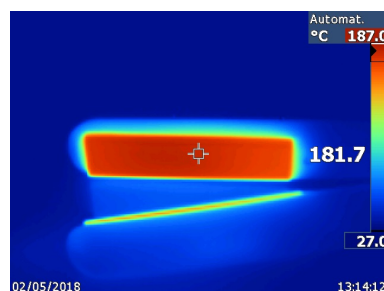
5.2 Experimenty a merania

5.2.1 Žehlička na vlasy

Prvým predmetom z každodenného života bola žehlička na vlasy. Jej meranie nedopadlo podľa očakávania, pretože sa svojou teplotou moc nepriblížila k očakávanej teplote 200 °C. Táto žehlička nemá žiadnu kvalitnú reguláciu, ktorá by udržiavala konštantnú teplotu, a nepodarilo sa túto teplotu nijak ustáliť. Jej teplota výrazne kolísala, čo sa odrazilo aj na výsledkoch merania. Pri postupnom striedaní dotykových sond a bezdotykových meradiel teploty boli namerané postupne aj rozptýlené hodnoty, čo je vidieť podľa hodnôt v tabuľke 5.1.

Tab. 5.1: Tabuľka nameraných hodnôt pre žehličku na vlasy

Žehlička na vlasy	Teplota [°C]
Pyrometer Omega	183,0
Termočlánok K Omega	155,0
Termočlánok K Metex	133,0
Termokamera Fluke	181,7



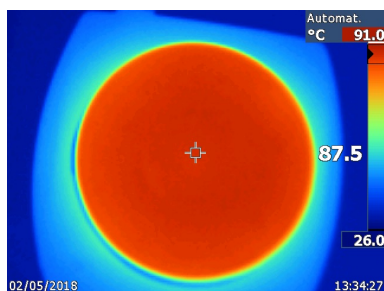
Obr. 5.3: Termogram žehličky na vlasy

5.2.2 Elektrický varič

Ďalším zvoleným príkladom bol elektrický varič. Merania nedopadli podľa očakávaní (výsledky sú zobrazené v tabuľke 5.2), kde prvým dôvodom je iba jednoduchá dvojpolohová regulácia teploty variča a termostat so slabou citlivosťou. Druhým dôvodom je vrúbkovaný povrch platničky. Toto spôsobuje problém prestupu tepla z platničky na sondu. Možným riešením je použitie rôznych teplovodivých pást (používané napríklad pre uľahčenie prestupu tepla z procesoru na chladič), potrebné je však overiť dostatočný teplotný rozsah použitej pasty. Toto riešenie nie je vhodné pre použitie na varič, pretože by mohlo dôjsť k znehodnoteniu platničky.

Tab. 5.2: Tabuľka nameraných hodnôt pre elektrický varič

Elektrický varič	Teplota [°C]
Pyrometer Omega	93,0
Termočlánok K Omega	77,8
Termočlánok Pt100	73,0
Termokamera Fluke	87,5



Obr. 5.4: Termogram elektrického variča

Keďže meranie predmetov z každodenného života nedopadlo podľa očakávania, tak boli použité predmety z laboratória. Zvolenými predmetmi bol kryt stolnej lampy, dva rôzne napájacie zdroje a liehový teplomer na stene.

5.2.3 Kryt lampy

Lampa v laboratóriu bola kratší čas v prevádzke. Výsledky meraní pomocou jednotlivých teplomerov sa od seba výrazne líšili. Namerané výsledky sú zobrazené v tabuľke 5.3 a v termograme na obrázku 5.5.

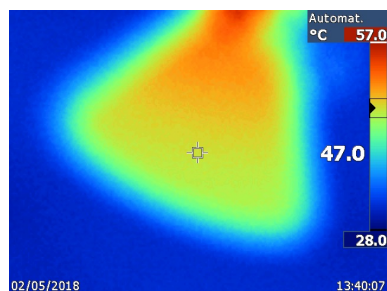
Lampa bola v prevádzke ešte ďalšie dve hodiny. Podľa termogramu (obrázok 5.6) sa teplota lampy ustálila, je rozložená po kryte lampy rovnomernejšie. V dôsledku toho sa podarilo zmerať teplotu krytu lampy presnejšie, čím sa znížil rozptyl nameraných hodnôt.

Tab. 5.3: Tabuľka nameraných hodnôt pre kryt lampy

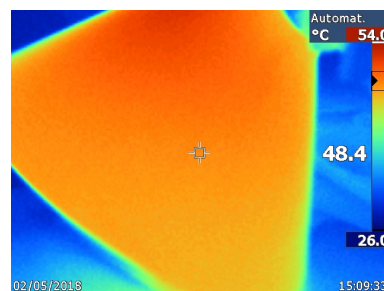
Lampa	Teplota [°C]
Pyrometer Omega	47,3
Termočlánok K Omega	33,0
Termočlánok Pt100	39,0
Termočlánok K Metex	43,0
Termokamera Fluke	47,0

Tab. 5.4: Tabuľka nameraných hodnôt pre kryt lampy po 3 hodinách

Lampa po 2 hodinách	Teplota [°C]
Pyrometer Omega	48,5
Termočlánok K Omega	47,9
Pyrometer Fluke)	49,0
Termokamera Fluke	48,4



Obr. 5.5: Termogram krytu lampy na začiatku merania



Obr. 5.6: Termogram krytu lampy po 2 hodinách



Obr. 5.7: Kryt lampy

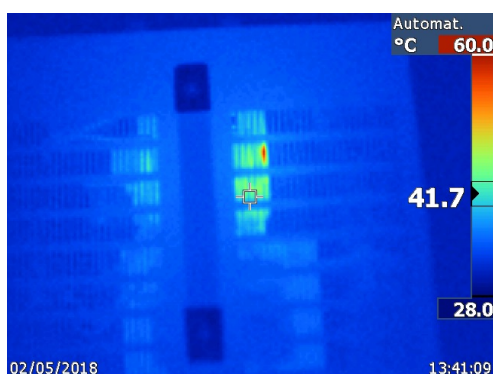
Výsledky merania pomocou kontaktného termočlánku Pt100 neboli použité, z dôvodu skreslenia, pretože došlo ku kontaktu s prstom ruky, ktorého teplota ovplyvňovala výsledky. Taktiež ani nebolo možné tento termočlánok upevniť k povrchu tak, aby bolo dosiahnuté objektívne meranie.

5.2.4 Napájacie zdroje

Ďalším použitým predmetom z laboratória bol napájací zdroj Statron typu 2229 (na obrázku 5.9). Očakávalo sa, že zdroj sa bude zahrievať na väčšej ploche, avšak termogram ukázal (obrázok 5.8), že plocha bola mierne zahriatá, ale najvýraznejším miestom zahriatia bola vetracia mriežka nad silovou časťou zdroja, cez ktorú termokamera zachytila teplotné žiarenie pochádzajúce z vnútra zdroja. Toto žiarenie môže ovplyvňovať namerané hodnoty. Výsledky merania sú uvedené v tabuľke 5.5.

Tab. 5.5: Tabuľka nameraných hodnôt pre zdroj Statron

Zdroj Statron	Teplota [°C]
Pyrometer Omega	34,0
Termočlánok K Omega	32,0
Termočlánok Pt100	38,0
Termočlánok K Metex	33,0
Pyrometer Fluke	33,2
Termokamera Fluke	36,0



Obr. 5.8: Termogram zdroja Statron



Obr. 5.9: Zdroj Statron

V laboratóriu bol zmeraný ešte jeden zdroj (zdroj Manson NP-9615 na obrázku 5.10a), ktorému sa ohrievala predná hrana nad displejom (hrana je viditeľná na obrázku 5.11a). Bola odmeraná jeho teplota z prednej časti a aj zo zadnej, kde sa nachádza mriežka ventilátoru (obrázok 5.11b). Ako je vidieť z tabuliek 5.6 a 5.7 sa pri tomto zdroji namerané hodnoty teploty rôznymi teplomerami skoro zhodujú.

V týchto meraniach je zbytočné prepočítavať emisivitu a upresniť tak výsledky bezdotykového merania podľa dotykovej sondy. Keď sa vezmú do úvahy presnosti jednotlivých teplomerov, tak sa dá považovať, že výsledky merania spadajú do prípustných medzí tolerancie. Výsledky totižto veľmi závisia na rôznych charakteristikách, ako napríklad na styčnej ploche pre prestup tepla a sile pritlačenia dotykového teplomeru. Pri meraní teploty zdrojov bezkontaktné teplomery zachytávajú žiarenie z vnútra zdroja, ktoré potom negatívne ovplyvňuje výsledky merania.

Tab. 5.6: Tabuľka nameraných hodnôt pre zdroj Manson spredu

Zdroj Manson	Teplota [°C]
Pyrometer Omega	36,0
Termočlánok K Omega	33,1
Termočlánok Pt100	32,0
Pyrometer Fluke	33,2
Termokamera Fluke	36,1

Tab. 5.7: Tabuľka nameraných hodnôt pre zdroj Manson zozadu

Zdroj Manson	Teplota [°C]
Pyrometer Omega	30,6
Termočlánok K Omega	31,3
Termočlánok Pt100	31,0
Pyrometer Fluke	31,6
Termokamera Fluke	34,1

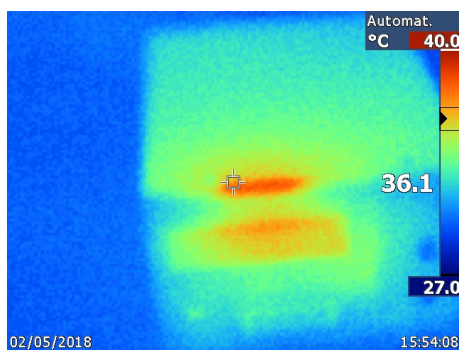


(a) Predná časť zdroja

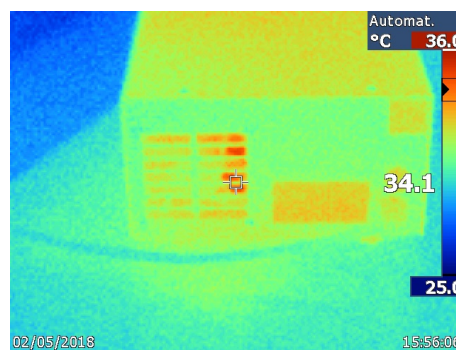


(b) Zadná časť zdroja

Obr. 5.10: Zdroj Manson



(a) Termogram prednej časti zdroja



(b) Termogram zadnej časti zdroja

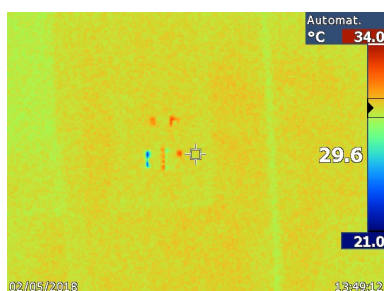
Obr. 5.11: Termogramy zdroja Manson

5.2.5 Liehový teplomer

Zaujímavým meraním bolo aj zmeranie teploty liehového teplomeru zaveseného na skrini v laboratóriu, ktorý je ukázaný na obrázku 5.13. Na termograme (5.12) sa objavujú miesta s o dosť nižšou, ale aj vyššou teplotou. Je to spôsobené tým, že liehový teplomer je pripevnený k drevenému podkladu kovovými svorkami, ktoré v mieste kde na ne svietilo slnko vykazovali vyššiu teplotu z dôvodu nahriatia sa, a naopak najchladnejšie miesta sa nachádzali v tom čase v tieni. Namerané hodnoty (tabuľka 5.8) sú skoro totožné, takže sa dá predpokladať že toto meranie bolo vykonané správne.

Tab. 5.8: Tabuľka nameraných hodnôt liehového teplomeru

Liehový teplomer	Teplota [°C]
Liehový teplomer	28,5
Pyrometer Omega	28,9
Termočlánok K Omega	29,0
Pyrometer Fluke	29,4
Termokamera Fluke	29,6



Obr. 5.12: Termogram liehového teplomera



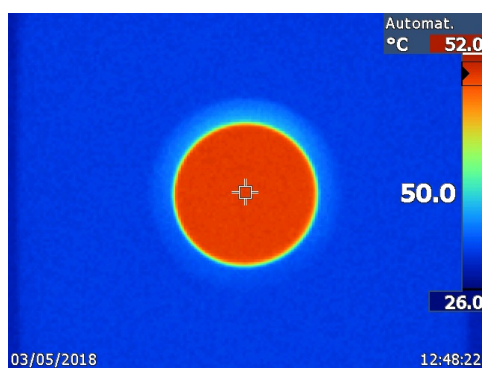
Obr. 5.13: Nameraná teplota na sklenenom teplomere

5.2.6 Kalibrátor

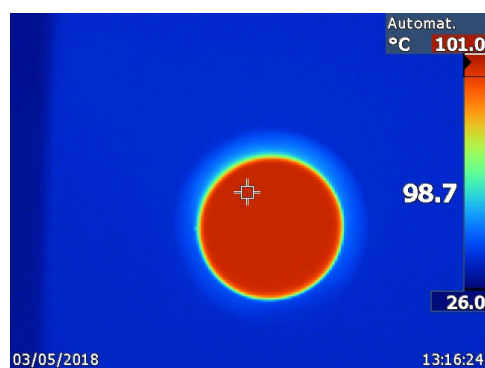
Nakoniec boli ešte pre najpresnejšie overenie zvolené teplomery otestované na kalibrátory Fluke 9135 (zobrazený na obrázku 5.15). Teplota bola odmeraná oboma pyrometrami, termokamerou a termočlánkom K Omega a výsledky sú uvedené v nasledujúcej tabuľke. Termočlánkom K Metex a ani termočlánkom Pt100 meranie nebolo možné realizovať pomocou bočného otvoru pre kontaktné teplomery. Termogramy na obrázkoch 5.14a a 5.14b zobrazujú zachytené hodnoty pomocou termokamery Fluke.

Tab. 5.9: Tabuľka nameraných hodnôt teploty kalibrátora

Kalibrátor	Teplota pracovného bodu 50 °C [°C]	Teplota pracovného bodu 100 °C [°C]
Pyrometer Omega	48,8	98,4
Termočlánok K Omega	46,8	97,0
Pyrometer Fluke	49,4	96,6
Termokamera Fluke	50,0	98,7



(a) Termogram kalibrátora pri 50 °C



(b) Termogram kalibrátora pri 100 °C

Obr. 5.14: Termogramy kalibrátora pri rôznych teplotách



Obr. 5.15: Kalibrátor Fluke 9135

5.3 Zhodnotenie meraní

Na kalibrátore dopadli všetky merania relatívne dobre, pretože je presne na tento účel určený, avšak predmety každodenného života majú rôzne povrchy, vlastnosti, nerovnosti, charakteristiky povrchu, ktoré môžu negatívne ovplyvňovať niektoré druhy teplomerov, preto je veľmi dôležité zvoliť vhodný typ teplomerov. Nedá sa určiť, či presnejšie merajú dotykové alebo bezdotykové teplomery, pretože v niektorých prípadoch merajú presnejšie dotykové teplomery, a v niektorých bezdotykové. Všetky merania závisia na rôznych okolnostiach. Keďže sa nedá určiť presná teplota niektorých predmetov, tým pádom nie je možné zhodnotiť, ktorý teplomer bol najpresnejší. Taktiež kalibrátor a teplomery nachádzajúce sa v laboratóriu neboli v nedávnej histórii zkalibrované, a preto s tiež nedá uvažovať o presnom meraní. Keďže pri poslednom experimente s kalibrátorom boli termokamerou namerané najpresnejšie hodnoty, a pri iných meraniach sa jej hodnoty najviac podobali očakávaným reálnym teplotám, považovala by som ju za najpresnejší teplomer z teplomerov dostupných v laboratóriu. Nepresnosti merania pri meraní dotykovými teplomermi sú spôsobené stratami pri prestupe a vedení tepla medzi snímačom a meraným objektom. Pri bezdotykových teplomeroch môže nepresnosti spôsobovať nepresná hodnota emisivity. Hodnota emisivity pri povrchoch a farbách sa však natoľko blíži k 0,95, že nie je potrebné emisivitu prepočítavať. Toto však neplatí pri lesklých povrchoch, kedy sa hodnota emisivity môže blížiť až k 0,1, podľa toho ako moc lesklý a hladký je povrch. Takýto povrch potom odráža infračervené žiarenie a nie je možné jeho teplotu zmerať. Ak by sme chceli teplotu takéhoto povrchu odmerať, musel by sa opatriť materiálom so známou hodnotou emisivity.

Vykonané experimenty sa sústredili predovšetkým na dosahovanú presnosť. Presnosť výsledku merania je spravidla ten parameter, ktorý je zjavný v prvej línii, a hrá rozhodujúcu rolu pri výbere meradla.

Parametrov a charakteristík, ktoré môžeme u meracej techniky sledovať je mnoho, ale ich praktické overenie v laboratóriu s nestálymi okolitými podmienkami merania nebolo realizovateľné. Práve u merania teploty je veľmi významným parametrom dynamika merania (odozvy). Mnohé teplomery, najmä dotykové potrebujú mnohokrát k ustáleniu výstupnej hodnoty teploty relatívne dlhé časy. Typické je to napríklad u sklenených liehových teplomerov, alebo ortuťových teplomerov, ktoré vykazujú na vzduchu časové konštanty v desiatkach sekúnd, takže ustálenie výsledkov predstavuje čas mnohokrát aj v minútach. Bežne predpokladáme ustálenie hodnoty v rozsahu cca 3 až 5 násobku časovej konštanty teplomeru. Tu je opäť spravidla výhoda o dosť rýchlejšej odozvy u teplomerov bezdotykových.

V uvedených experimentoch boli použité teplomery, ktoré sa dynamikou tak výrazne nelíšili. Použitý teplomer Pt100 od Sensitu Rožnov pod Radhoštem je vyrábaný technológiou vrstvého odporu, takže je výrazne rýchlejší oproti klasickým vinutým drátovým snímačom. Tým pádom ani tu nebolo možno dokonalo prezentovať tak výrazné odlišnosti od ďalších dotykových teplomerov - termočlánkov typu K, aj teplomerov bezdotykových.

6 Záver

Cielom tejto bakalárskej práce bolo napísať rešeršnú štúdiu v oblasti kontaktných a bezkontaktných meracích techník a prakticky overiť vlastnosti teplomerov v reálnych podmienkach. Kontaktné a bezkontaktné meracie techniky sú rozobrané v kapitolách 2, 3 a 4. Teoretický rozbor obsahuje uvedenie do problematiky a následný popis kontaktných a bezkontaktných meracích techník. Druhá časť práce je venovaná experimentálnemu overeniu vlastností teplomerov.

Praktická časť práce jasne ukázala, že voľba teplomeru má obrovský vplyv na presnosť merania. Odchýlky od merania boli očakávané, avšak reálne meranie ukázalo, že pri nevhodnej voľbe teplomeru sú až príliš veľké odchýlky od očakávaných hodnôt teploty. Spravidla je potrebná brať do úvahy okolité vplyvy, ako prúdenie vzduchu, dopadajúce slnečné žiarenie, iné zdroje sálavého tepla v okolí, dostupnosť meraného objektu pre dotykové alebo bezdotykové teplomery a ďalšie vplyvy.

Zatiaľ čo v teoretickej časti práce boli naznačené možnosti spresnenia výsledku pri bezdotykových teplomeroch prepočtom emisivity a jej nastavením v konkrétnom meradle. Mnohé prístroje toto nastavenie umožňujú, avšak v praktickej časti prepočet použitý nebol. V laboratóriu bola izbová teplota, ktorá sa dá považovať za zvýšenú oproti štandardným technickým teplotám, a z tohto dôvodu sa pri použití bežných teplomerov presnosť merania teploty pohybuje v intervale \pm niekoľko $^{\circ}\text{C}$. Do tohto intervalu tak zapadli výsledky merania teploty bezdotykovými teplomermi v laboratóriu, ktoré boli merané pri počiatočnom nastavení $\epsilon = 0,95$. Vzhľadom na okolnosti meraní nebolo potrebné prepočítavať hodnotu emisivity. Keďže žiadne z meradiel nebolo v poslednej dobe kalibrované (napríklad v nezávislom laboratóriu), nebolo zaručené, že meradlá majú veľmi úzky interval neistoty merania. Z tohoto dôvodu nebol vykonaný prepočet emisivity. Aj napriek tomu sa väčšina experimentálnych hodnôt merania teploty zmestila do intervalu $\pm 3^{\circ}\text{C}$, takže presnejšie určovanie emisivity nebolo potrebné. Pre bežnú prax by táto presnosť bola dostatočná, pre špecializované a náročné merania by museli byť zaradené celé škály korekcií a kompenzácie vplyvov, aby mohli byť splnené náročnejšie požiadavky, ktoré sú na takéto merania kladené.

Experimentálna časť práce potvrdila výhody aj nevýhody oboch skupín teplomerov (ktoré sú uvedené v kapitolách 3.4 a 4.3). Problémom pri meraní bezdotykovými teplomermi je samotné nastavenie teplomerov, ktoré je obtiažnejšie ako pri dotykových, avšak manipulácia a priebeh merania bol rýchlejší a pohodlnejší s bezdotykovým teplomerom. Pri použitých dotykových teplomeroch sa ukázalo, že sú naozaj vhodnejšie k meraniu nižších rozsahov teplôt, pretože vtedy nevznikajú veľké odchýlky.

Literatúra

- [1] SLÁDEK, Zdeněk a František VDOLEČEK. *Technická měření*. Brno: VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0414-0.
- [2] CHUDÝ, Vladimír. *Meranie technických veličín*. V Bratislave: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 1999. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 80-227-1275-2.
- [3] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřící obvody*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0145-4.
- [4] JENČÍK a Josef. *Technická měření*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-010-2138-6.
- [5] VOJÁČEK, Antonín. *Přehled principů el. měření teploty - 1. díl*. [online]. 2014 [cit. 25. mája 2018]. Dostupné z URL:
<<https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>>
- [6] AREKO, S. R. O. *Čo je dobré vedieť o bezkontaktnom meraní teploty?* [online]. 2005 [cit. 25. mája 2018]. Dostupné z URL:
<<https://www.atpjournal.sk/buxus/docs/atp-2005-01-34.pdf>>
- [7] KADLEC, Karel. *Měřící a řídicí technika* [online]. 2005 [cit. 25. mája 2018]. Dostupné z URL:
<<http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F0-ram.htm>>
- [8] DROZDA, František. *Príručka pre meranie teploty* [online]. 2015 [cit. 25. mája 2018]. Dostupné z URL:
<http://www.unms.sk/swift_data/source/2015/om/prirucky/PRIRUCKA_TEPLOTA_na_web.pdf>
- [9] JANÍČEK, Přemysl. *Technický experiment*. Vybrané kapitoly [online]. 2004 [cit. 25. mája 2018]. Dostupné z URL:
<<http://www.umd.fme.vutbr.cz/images/opory/Technicky%20experiment%20vybrane%20kapitoly/TE.pdf>>
- [10] ROWE, David Michael. *Thermoelectrics handbook: macro to nano*. Boca Raton, 2006. ISBN 08-493-2264-2.

- [11] REICHL, Jaroslav. *Thomsonův jev* [online]. [cit. 25. mája 2018]. Dostupné z URL:
<<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/912-thomsonuv-jev>>
- [12] BRÁZDIL, Marian. *Možnosti využití termoelektrických jevů pro výrobu elektrické energie z odpadního tepla* [online]. 2013 [cit. 25. mája 2018]. Dostupné z URL:
<<https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/10220-moznosti-vyuziti-termoelektrickych-jevu-pro-vyrobu-elektricke-energie-z-odpadniho-tepla>>
- [13] *Termočlánková sonda*. Dostupné z URL:
<https://www.omegaeng.cz/pptst/SMP-NP_RT_HT.html>
- [14] KYMPLOVÁ, Jaroslava. *Katalog metod v biofyzice: Multimediální podpora výuky klinických a zdravotnických oborů :: Portál 1. lékařské fakulty Karlovy Univerzity* [online]. 2013 [cit. 25. mája 2018]. Dostupné z URL:
<<http://portal.lf1.cuni.cz/clanek-793-katalog-metod-v-biofyzice>>
- [15] ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. *Strojírenská metrologie: studijní opora "Strojírenská metrologie"*. Vyd. 4., přeprac., V Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3070-2.
- [16] *Sklenený teplomer*. Dostupné z URL:
<<https://www.caleffi.com/czech-republic/cs/catalogue/skleneny-teplomer-693000>>
- [17] *Plynové teploměry*. Dostupné z URL:
<<http://www.bhvsenzory.cz/pub-15-plynove-teplomery-pro-prumyslove-pouziti.html>>
- [18] *Měření teploty pomocí žároměrek* [online]. 2009 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z URL:
<<http://fyzmatik.pise.cz/994-mereni-teploty-pomoci-zaromerek.html>>
- [19] *Teploměry lak*. Dostupné z URL:
<<https://www.omegaeng.cz/pptst/LAQ.html>>
- [20] *Teplomerná nálepka nevratná*. Dostupné z URL:
<https://www.omegaeng.cz/pptst/TL-C5_LABELS.html>

- [21] *Teplomerné nálepky vratné*. Dostupné z URL:
<<https://www.omegaeng.cz/pptst/RLC-50.html>>
- [22] ŠTURCEL, Ján. *Prvky riadiacich systémov: meranie neelektrických systémov*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2004. Edícia skrípt. ISBN 80-227-2120-4.
- [23] HUŠEK, Miloš. *Princip bezdotykového měření teploty* [online]. [cit. 25. mája 2018]. Dostupné z URL:
<<http://www.qtest.cz/bezdotykove-teplomery/bezdotykove-mereni-teploty.htm>>
- [24] ŠIMKO, Milan a Milan CHUPÁČ. *Termovízia a jej využitie v praxi*. V Žiline: Žilinská univerzita, 2007. ISBN 978-80-8070-654-8.
- [25] PAVELEK, Milan. *Termomechanika - Přenos tepla zářením* [online]. [cit. 25. mája 2018]. Dostupné z URL:
<http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/termo/19_Zareni.pdf>
- [26] LYSENKO, Vladimír. *Detektory pro bezdotykové měření teplot*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0180-2.
- [27] NOVÁ Iva, KRÝSLOVÁ Stanislava a KRÝSLOVÁ Zdenka. *Metódy bezdotykového měření teploty* [online]. 2004 [cit. 25. mája 2018]. Dostupné z URL:
<<https://www.mmspektrum.com/clanek/metody-bezdotykoveho-mereni-teploty-2.html>>
- [28] *Radiačný pyrometer*. Dostupné z URL:
<<http://www.maryshfmmi.webzdarma.cz/pmt.htm>>
- [29] *Bezdotykové měření teploty*. Transactions in measurement and control [online] Newport Omega, 2005. Dostupné z URL:
<https://www.omega.com/literature/transactions/transactions_Vol_I.pdf>
- [30] *Termogram*. Dostupné z URL:
<<https://www.infratec.eu/thermography/industries-applications/automotive-industry/>>
- [31] *Termokamera Fluke Ti9*. Dostupné z URL:
<<https://www.else.sk/teplomery/sk/nedodavane-ukoncena-vyroba/fluke-ti9-termokamera-do-priemyslu20dc-a-250dc-2049.html>>

Zoznam príloh

A	Prehľad najpoužívanějších termočlánkov	61
B	Katalógové listy	63

A Prehľad najpoužívanějších termočlánkov

	Kombinácia zliatin		Tepl. rozsah (°C) ²		U_{te} (mV) ⁴	Dovolená chyba ⁵		Prostredie, v ktorom môže termočl. pracovať, poznámky
	vodič +	vodič -	termočl.	kom. v. ³		štandard.	špeciál.	
J	Fe (železo)	Cu-Ni (konštantán)	0 až 750	0 až 200	0 až 42,283	2,2 °C al. 0,75%	1,1 °C al. 0,4%	Redukčné, vákuum, inertné. Nedopor. pre nízke teploty
K	Ni-Cr (nikel-chróom)	Ni-Al (nikel-hliník)	-200 až 1250	0 až 200	-5,973 až 50,633	^{a)} 2,2 °C al. 0,75% ^{b)} 2,2 °C al. 2,0%	1,1 °C al. 0,4%	Čisté oxidačné a inertné. Obmedzené použitie vo vákuu a redukčnom.
T	Cu (meď)	Cu-Ni (konštantán)	-200 až 350	-60 až 100	-5,602 až 17,816	^{a)} 1,0 °C al. 0,75% ^{b)} 1,0 °C al. 1,5%	0,5 °C al. 0,4%	Stredne oxid., redukčné, váku- um alebo inertné. Dobré použi- tie vo vlhkom prost. Nízke teploty a kryogenika.
E	Ni-Cr (nikel-chróom)	Cu-Ni (konštantán)	-200 až 900	0 až 200	-8,824 až 68,783	^{a)} 1,7 °C al. 0,5% ^{b)} 1,7 °C al. 1,0%	1,0 °C al. 0,4%	Oxidačné alebo inertné. Obmedz. použitie vo vákuu alebo v redukčnom prost. Najv. prírastok U_{te} na 1 °C.
N ¹	Ni-Cr-Si (microsil)	Ni-Si-Mg (nisil)	-270 až 1300	0 až 200	-4,345 až 47,502	^{a)} 2,2 °C al. 0,75% ^{b)} 2,2 °C al. 2,0%	1,1 °C al. 0,4%	Alternatíva k typu K. Stabil- nejší pri vysokých teplotách.
R	Pt-13%Rh (platina- rhódium)	Pt (platina)	0 až 1450	0 až 150	0 až 16,741	1,5 °C al. 0,25%	0,6 °C al. 0,1%	Oxidačné al. inertné. Nevkla- dať do kovových ochr. obalov. Chrániť pred kontamináciou.
S	Pt-10%Rh (platina- rhódium)	Pt (platina)	0 až 1450	0 až 150	0 až 14,973	1,5 °C al. 0,25%	0,6 °C al. 0,1%	Oxidačné al. inertné. Nevkla- dať do kovových ochr. obalov. Chrániť pred kontamináciou.
B	Pt-30%Rh (platina- rhódium)	Pt-6%Rh (platina- rhódium)	0 až 1700	0 až 100	0 až 12,426	0,5% nad 800 °C	neudáva sa	Oxidačné al. inertné. Nevkla- dať do kovových ochr. obalov. Chrániť pred kontamináciou.
G ¹	W (volfrám)	W-26%Re (volfrám- rhénium)	0 až 2320	0 až 260	0 až 38,564	4,5 °C do 425 °C 1,0% do 2320 °C	neudáva sa	Vákuum, inertné, hydrogen. Nepraktické pod 750 °C. Chrániť pred skrehnutím. Nie pre oxidačné prostredie.
C ¹	W-5%Re (volfrám- rhénium)	W-26%Re (volfrám- rhénium)	0 až 2320	0 až 870	0 až 37,066	4,5 °C do 425 °C 1,0% do 2320 °C	neudáva sa	Vákuum, inertné, hydrogen. Nepraktické pod 750 °C. Chrániť pred skrehnutím. Nie pre oxidačné prostredie.
D ¹	W-3%Re (volfrám- rhénium)	W-25%Re (volfrám- rhénium)	0 až 2320	0 až 260	0 až 39,506	4,5 °C do 425 °C 1,0% do 2320 °C	neudáva sa	Vákuum, inertné, hydrogen. Nepraktické pod 750 °C. Chrániť pred skrehnutím. Nie pre oxidačné prostredie.

Obr. A.1: Najpoužívanějšíe termočlánky

B Katalógové listy

DIGITÁLNÍ MULTIMETR M 3890DT - True RMS 3 3/4 digit METEX V, A, Hz, F, Ω , °C, °F, h_{fe} , dB, dioda, USB

- automatické přepínání rozsahů
- automatické vypínání
- zabudované rozhraní USB
- paměť na 10 hodnot
- funkce: min, max, ofset, hold, auto
- integrovaný signální generátor
- integrovaná logická zkoušečka
- základní příslušenství obsahuje pouzdro pro přístroj, měřící vodiče,

Za příplatek je možno objednat tepl. sondu, kabel generátoru a SW



DC napětí	rozlišení	přesnost $\pm(\%rdg+dig)$	DC proud	rozlišení	přesnost $\pm(\%rdg+dig)$
400 mV	100 μ V	0.5 % + 2 dg	400 μ A	0.2 μ A	0.8 % + 2 dg
4 V	1 mV	0.8 % + 2 dg	4 mA	2 μ A	0.8 % + 2 dg
40 V	10 mV	0.8 % + 2 dg	40 mA	20 μ A	1.2 % + 2 dg
400 V	100 mV	0.8 % + 2 dg	400 mA	200 μ A	1.2 % + 2 dg
1000 V	1 V	0.8 % + 2 dg	20 A	2 mA	2.0 % + 3 dg
AC napětí			AC proud		
4 V	1 mV	1.0 % + 3 dg	400 μ A	0.2 μ A	1.0 % + 5 dg
40 V	10 mV	1.0 % + 3 dg	4 mA	2 μ A	1.0 % + 5 dg
400 V	100 mV	1.0 % + 3 dg	40 mA	20 μ A	1.5 % + 5 dg
750 V	1 V	1.5 % + 3 dg	400 mA	200 μ A	1.5 % + 5 dg
Měření odporu			20 A	2 mA	3.0 % + 4 dg
400 Ohm	0.1 Ohm	0.8 % + 4 dg	Kapacita		
4 kOhm	1 Ohm	0.8 % + 2 dg	4 nF	1 pF	2.0 % + 5 dg
40 kOhm	10 Ohm	0.8 % + 2 dg	40 nF	10 pF	2.0 % + 5 dg
400 kOhm	100 Ohm	0.8 % + 2 dg	400 nF	100 pF	2.0 % + 5 dg
4 MOhm	1 kOhm	1.0 % + 4 dg	4 μ F	1 nF	3.0 % + 5 dg
40 MOhm	10 kOhm	1.5 % + 5 dg	40 μ F	10 nF	3.0 % + 5 dg
Frekvence			200 μ F	100 nF	5.0 % + 5 dg
4 kHz	1 Hz	0.1 % + 1 dg	Teplota		
40 kHz	10 Hz	0.1 % + 1 dg	-40-200°C	1°C	3.0 % + 5 dg
400 kHz	100 Hz	0.1 % + 1 dg	200-1200°C	1°C	3.0 % + 2 dg
4 MHz	1 kHz	0.1 % + 1 dg	Beep test	< 80 Ohm	

Obr. B.1: Multimeter Metex 3890D

SNÍMAČ TEPLoty S KABELem A KOVOVÝM POUZDREM



POPIS A POUŽITÍ

Tyto odporové snímače jsou konstruovány pro kontaktní měření teploty plyných, kapalných nebo pevných látek. Maximální teplotní rozsah použití snímačů je -50 °C až 200 °C. Použitý materiál a průměr pouzdra zajišťují rychlou odezvu na změny teploty, jako přívodní kabel je používán typ se silikonovou izolací a stíněním. Snímače jsou určeny pro provoz v chemicky neagresivním prostředí, způsob použití musí být volen s ohledem na teplotní a chemickou odolnost pouzdra a přívodního kabelu.

PŘÍSLUŠENSTVÍ

– konektory

PROHLÁŠENÍ, CERTIFIKACE, KALIBRACE

Výrobce vydává **EU Prohlášení o shodě**.

Kalibrace – Veškerá produkce prochází výstupní metrologickou kontrolou, která se provádí porovnáním s etalony nebo s pracovními měřidly. Ná vaznost etalonů a pracovních měřidel je zajištěna ve smyslu §5 zákona č.505/1990 o metrologii. Výrobce nabízí možnost dodávat snímače kalibrované v laboratoři SENSIT s.r.o. (dle požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025) nebo v AKL.



TECHNICKÉ PARAMETRY

Snímač	TG 4
Maximální teplotní rozsah použití	-50 až 200 °C (může být omezeno typem čidla, upřesněno v návodu na použití)
Typ čidla	Pt, Ni, NTC
Stupeň krytí	IP 67 dle ČSN EN 60529
Materiál pouzdra	mosaz
Průměr/délka pouzdra L	4,6 mm / 24 mm
Přívodní kabel	silikon stíněný 2 x 0,22 mm ²
Odpor vedení	0,16 Ω na 1 m kabelu pro 2vodičové zapojení
Doba odezvy	$\tau_{0,5} < 7$ s (v proudící vodě 0,4 m.s ⁻¹)

Pozn.: Snímače teploty je možné vyrobit také v provedení s různými variantami termočlánků. Parametry těchto snímačů je možné najít na webových stránkách www.sensit.cz

ROZMĚROVÝ NÁČRT

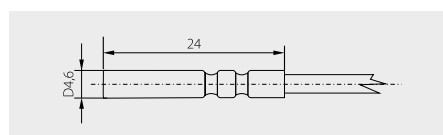
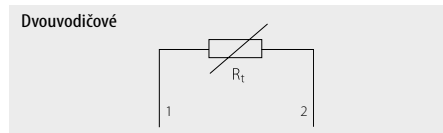


SCHÉMA ZAPOJENÍ



MONTÁŽ SNÍMAČE A JEHO OBSLUHA

- Montáž snímače do měřeného místa.
 - Připojení vodičů přívodního kabelu snímače podle schéma zapojení. Stínění přívodního kabelu není vodivě spojeno s vnějším pouzdrům snímače ani čidlem teploty.
- Po montáži a připojení na navazující elektrické měřicí zařízení je snímač připraven k provozu. Snímač nevyžaduje speciální obsluhu a údržbu. Pracovní poloha snímače je libovolná.

MODIFIKACE A ZAKÁZKOVÉ ÚPRAVY

- variabilní provedení stonku v oblasti – délky L, materiálu pouzdra
- třída přesnosti A (s výjimkou čidel Ni 10000/5000, Ni 10000/6180, T1 = Ni 2226, termistor NTC 20 kΩ)

SENSIT s.r.o., Školní 2610, 756 61 Rožnov p. R., Česká republika
tel.: +420 571 625 571, fax: +420 571 625 572, obchod@sensit.cz, www.sensit.cz



K03.5 03/18
nahrazuje K03.4

FLUKE 62 MINI



FLUKE 62 MINI

Charakteristika

- Bezdotykový infračervený měřič teploty
- Zaměřovací laserový paprsek
- Konstantní emisivita
- Funkce DATA HOLD, MAX, SCAN
- Volba °C/°F
- Indikace stavu baterie
- Auto OFF

Technická data

Zobrazení

3 1/2 místný, 2 000 digitů (hlavní)
3 místný, 999 (pomocný)

Měření

Teplota: -30 °C ... +500 °C
-20 °F ... +932 °F

Rozlišení displeje: 0,2 °C

Doba odezvy: < 0,5 sec

Spektrální rozsah: 6.5 ... 18 μm

Emisivita: 95 %

Optická charakteristika: 10/1
(vzdálenost/průměr měřené plochy)

Napájení: 1x 9 V, IEC 6LR61

Hmotnost/rozměry: 200 g/152 x 102 x 38 mm

Údaje pro objednávku:

FLUKE 62 FL.2433868

Součást dodávky:

FLUKE 62 MINI	1 ks
Přenosné pouzdro	1 ks
Baterie 9 V, IEC 6LR61	1 ks
Návod	1 ks

Ti9/10/25



Ti25

Charakteristika

- Rychlé zobrazení obrazu rozložení teploty na elektrických rozváděcích, strojích, motorech a jiných objektech
- Teplotní rozsah **-20 °C až 250 °C (350 °C Ti25)** (2 rozsahy)
- Rozlišení detektoru 160x120 bodů
- Obnovovací frekvence 9Hz
- **Korekce emisivity na displeji (pouze Ti25)**
- Pevně nastavená emisivita 0,95 (Ti9, Ti10)
- Režim měření - střední bod (označení horkých a chladných bodů Ti25)
- **Přesnost $\pm 5^\circ\text{C}$ nebo $\pm 5\%$ ($\pm 2^\circ\text{C}$ nebo $\pm 2\%$ Ti25)**
- **Teplotní rozlišení $\leq 0,2^\circ\text{C}$ ($\leq 0,1^\circ\text{C}$ Ti25)**
- Barevné spektrum:
 - Ti9 - kovová, modro- červená, vysoký kontrast, šedá
 - Ti10 - obraz v obraze a plné IR zobrazení (1 úroveň)
 - Ti25 - kovová, modro- červená, vysoký kontrast, jantarová, horké železo, šedá
- Provozní režimy:
 - Ti9, Ti10- plné IR zobrazení
 - Ti25- obraz v obraze a plné IR zobrazení (ve 3 úrovních)
- Paměť 2 GB karta SD na 3000 IR snímků/1200 IR-Fusion snímků
- Hlasové poznámky (pouze Ti25)
- Možnost exportu do souborů JPEG, BMP, GIF, PNG, TIFF, WMF, EXIF a EMF
- Indikace stavu baterie, hodiny s reálným časem, teplota středního bodu, rozsahu a rozpětí teplot
- Nastavení alarmů pro vysoké a nízké teploty (pouze Ti25)
- **Firmware a Software SmartView v českém jazyce**
- Vysoký stupeň krytí **IP 54** a mechanická odolnost
- Provoz na baterie 3-4 hodiny

Technická data

Detektor

Rozlišení 160 x 120 bodů

Obnovovací frekvence 9Hz

Spektrální rozsah 7,5 - 14 μm

Displej barevný LCD, podsvícení

Rozlišení 640 x 480 bodů

Měření

Teplotní rozsah 20 °C ... 250 °C (20 ... 350 °C Ti25)

Přesnost $\pm 5^\circ\text{C}$ nebo $\pm 5\%$ ($\pm 2^\circ\text{C}$ nebo $\pm 2\%$ Ti25)

Rozpětí 10/5 °C(5 / 2,5 °C Ti25)(automatické/manuální)

Teplotní citlivost $\leq 0,2^\circ\text{C}$ ($\leq 0,1^\circ\text{C}$ Ti25)

Zorné pole 23° x 17°

Prostorové rozlišení 2,5 mrad

Minimální zaostření 15 cm tepelné, (46 cm optické Ti10, Ti25)

Provozní teplota - 10 °C ... 50 °C při RH < 90 %

Skladovací teplota -20 °C ... 50 °C při RH < 90 %

Rozměry 267 x 127 x 152 mm

Krytí IP 54

Hmotnost 1100 g

Údaje pro objednávku:

Fluke Ti9	FL.3410250
Fluke Ti10	FL.2822046
Fluke Ti25	FL.2823117

Součást dodávky:

Fluke Tixx	1 ks
Software SmartView	1 ks
2 GB karta SD	1 ks
Čtečka SD karet	1 ks
Odolné pouzdro	1 ks
Přenosná brašna	1 ks
Řemínek na ruku	1 ks
Nabíjecí akumulátor	1 ks
Nabíječka	1 ks
Návod	1 ks

Economical Professional Infrared Thermometer

OS423 Series



- ✓ **Measurement Range:**
OS423-LS: -60 to 860°C
(-76 to 1580°F)
OS423HT-LS: -60 to 1000°C (-76 to 1832°F)
- ✓ **Adjustable Emissivity**
- ✓ **30:1 Field of View**
- ✓ **Type K Thermocouple Input**
- ✓ **Backlit Display with Switch**
- ✓ **Laser Circle Sighting**
- ✓ **LCD Error Messages**
- ✓ **Modes: AVG, DIF, HI/LO ALARM, MAX/MIN, ALARM**
- ✓ **White LED Light**
- ✓ **°C/°F Selectable**

The OS423 series are fully functional infrared non-contact temperature measuring devices. Offered at an economical price, the OS423 series offers laser sighting, several mathematical modes, and adjustable emissivity. Long battery life, (typical 180 hrs without laser or backlight), is obtained from 2 "AAA" batteries (included) along with automatic shut-off. The 8-14 μ m wavelength sensitivity rejects spurious reflections from local lighting.

Specifications

Temperature Range:

OS423-LS: -60 to 860°C
(-76 to 1580°F)

OS423HT-LS: -60 to 1000°C
(-76 to 1832°F)

Thermocouple Range: -64 to 1400°C
(-83 to 1999°F)

Accuracy: $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 1.8^\circ\text{F}$)

Target Temp: 15 to 35°C

(59 to 95°F)

Ambient Temp: 25°C (77°F)

Accuracy: $\pm 2\%$ of reading or 2°C (4°F)
whichever is greater

Target Temp: >35 to 860°C

(91 to 1580°F)

Ambient Temp: 23°C (73°F)

Thermocouple Accuracy: $\pm 1\%$ of reading or 1°C (1.8°F) whichever is greater (test under $T_{\text{amb}} = 23 \pm 6^\circ\text{C}$)



SPHT-K-6 6" Type K surface probe.



OMEGACARESM extended warranty program is available for models shown on this page. Ask your sales representative for full details when placing an order. OMEGACARESM covers parts, labor and equivalent loaners.

OS423-LS

Operating Range: 0 to 50°C
(32 to 122°F)

Emissivity Range: 0.95 default;
adjustable 0.1 to 1 step 0.01

Resolution (-9.9 to 199.9°):
0.1°C (0.1°F)

Response Time 90%: 1 sec

Distance to Spot Ratio: 30:1

Power: 2 "AAA" alkaline
batteries (included)

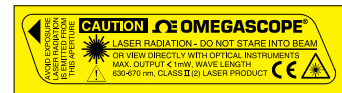
Battery Life: Typical 180 minute,
140 hours continuous use (alkaline,
without laser or backlight)

Dimensions:

47.0 D x 154.9 W x 193.1 mm L
(1.8 x 6.0 x 7.6")

Weight: 344.8 g (12.16 oz)
including batteries

CAUTION! – This product is not intended for medical use or use on humans



Free Thermocouple Included!
OS423 models include a free 1 m (40") Type K insulated beaded wire thermocouple with subminiature connector and wire spool caddy.
Order a Spare! Model No. SC-GG-K-30-36

To Order	
Model No.	Description
OS423-LS	Economical professional 30:1 IR thermometer
OS423HT-LS	Extra high temperature IR thermometer
SPHT-K-6	Type K, 152 mm (6") surface probe

Comes complete with hard carrying case, 2 "AAA" alkaline batteries, Type K thermocouple and operator's manual.

Ordering Example: OS423-LS, infrared thermometer. OCW-3, OMEGACARESM extends standard 1-year warranty to a total of 4 years.

J-35

Obr. B.5: Pyrometer Omega OS423-LS